# 머 리 말

위대한 령도자 **김정일**동지께서는 다음과 같이 지적하시였다.

《과학연구사업에서의 성과는 하루이틀사이에 쉽게 이룩되는것이 아니라 오랜 기간 꾸준한 노력을 기울여야 이룩될수 있습니다.》

사람들이 자연의 비밀을 밝히기 위하여 사색을 기울이고 지혜를 바치며 무한한 우주세계의 구석구석에 숨겨진 많고많은 비밀들을 찾아내기 시작한 때로부터 세월은 아득히 흘러 최첨단과학기술의 시대가 우리앞에 펼쳐지고있다. 오늘에로의 인류의 문명을 안아온 과학기술발전의 력사속에는 묵묵히 한생을 바쳐 성공의 기쁨을 안아온 수많은 과학자들의 숨은 노력이 깃들어있다.

성공! 그것은 결코 하루이틀에 이루어지는것이 아니다.

한생을 깡그리 바치며 때로는 목숨까지도 내대야 하는 과학탐구의 길이지만 바로 인류를 위한 그 성공을 위해 많고많은 사람들이 과학의 한길에 청춘을 아낌없이 바치였다.

출판사에서는 우리의 청년들에게 물리학발전에 기울인 과학자들의 탐구의 세계를 펼쳐보이기 위하여 이 책을 내게 된다.

책에서는 물리학의 발전력사를 따라가면서 발명과 발견에 대한 이야기를 그에 기여한 과학자들의 탐구과정과 함께 서술하였다.

성공을 위하여 기울인 그들의 희생적인 노력에 대하여 돌이켜보면서 누구나 가슴속에 과학에 대한 사랑을 싹틔우고 소중히 꽃피워 래일의 세계적인 발명, 발견의 주인공으로 될 포부를 가지게 될것이다.

모든 청년들이 최첨단을 향한 오늘의 보람찬 탐구의 길에 자기의 한생을 아낌없이 바쳐 과학의 력사에 이들처럼 뚜렷한 자욱을 남기고 사회주의강성국가건설위업에 실력으로 이바지하는 훌륭한 과학자로 믿음직하게 준비해나가기 바란다.

# 차 례

# $\alpha$붕괴의 세계에서

이 세상의 모든 물질을 끝없이 쪼개고쪼갤 때 그것은 과연 어떻게 되겠는가. 그러한 물질을 얻어낼수 있다면 그 한계는 어디일가.

세계에 대한 사람들의 인식에서 비약이 일어나고 세상만물이 존재하는 리치가 과학의 비밀과 함께 하나하나 밝혀지기 시작하면서 새라새롭게 나서는 많고많은 의문을 풀기 위해 참으로 많은 사람들이 미지의 탐구의 길에 나섰다. 그가운데서도 력사에 가장 뚜렷한 자욱을 새긴 사람들은 첨단을 걸은 물리학자들, 특히 물리학의 새로운 분야인 량자력학을 개척한 사람들이라고 볼수 있다.

20세기와 함께 자기 모습을 드러내기 시작한 량자력학에 대한 연구에 용감히 뛰여들어 성공과 창조의 기쁨을 안아온 과학자들가운데는 로씨야출신의 미국물리학자인 죠지 가모브(1904－1968년)와 오스트리아물리학자인 프리쯔 하우터만(1903－1966년) 그리고 영국물리학자인 어니스트 라더퍼드(1871－1937년)가 있다.

가모브는 새로 개발된 량자력학을 원자핵들에 적용하여 $\alpha$붕괴를 설명하였으며 핵물리학분야를 건설하였다. 원자핵이 립자를 내보내면서 붕괴되는 현상을 $\alpha$붕괴라고 한다.

## 돌파구는 과연 누가?

보이지도 않고 볼수도 없는 원자의 세계는 참으로 큰 힘으로 물리학자들을 매혹시켰다. 누가 시키지도 않았고 안락한 생활과 재부를 기약하는 즐거운 길도 아니였건만 수많은 사람들이 낮에 밤

을 이어가며 스스로 원자와 씨름하였다.

어떤 방법으로? 누가 더 먼저?

누구나가 첨단에 자기 마음을 두고 모색을 거듭하였다.

다행히도 바른 길을 빨리 찾아낸 사람들은 세상에 그 이름을 남 먼저 새기기 시작하였다.

1911년에 라더퍼드는 대단히 얇은 금박막의 원자들로부터 $\alpha$립자들이 튕겨나는 실험들을 진행하였다. 바로 그의 실험들을 통하여 사람들은 원자는 그 질량의 99%이상이 양전하를 띤 핵이라고 불리우는 원자안의 아주 작은 중심구역에 집중되여있다는것을 알게 되였다. 원자핵의 직경은 원자의 직경의 10만분의 1이다.

1913년에는 닐스 보르가 원자모형을 제기하였다. 그것은 음으로 대전된 전자들이 특별히 허용된 자리길안에서 핵둘레를 돌고있다는것이였다. 보르의 이 모형은 라더퍼드가 진행한 실험결과들을 설명하였다. 특히는 수소원자의 스펙트르를 정확히 설명하였다.

그러나 보르의 리론은 답변하지 못한 문제를 남겨놓았다.

전자들은 어째서 일정한 자리길들에서만 돌아가는가?

이에 대한 대답은 후에야 할수 있게 되였는데 그것은 전자들이 어떤 때는 파동과 같이 또 어떤 때는 립자와 같이 거동한다는것이였다. 바로 이로부터 량자력학이 나오게 되였다. 즉 같은 시간에 파동 또는 립자와 같이 거동하는 대상들을 연구하는 물리학의 분야를 량자력학이라고 부른다. 량자력학이라는 말은 1924년에 도이췰란드 물리학자 막스 보른이 처음으로 제기하였다.

1928년에 물리학자들은 새로 발견된 량자력학의 법칙들을 리용하여 계산을 위한 수학적수법들을 개발하였다.

유럽의 주요대학들에서 젊은 물리학자들은 원자들의 거동에 량자력학을 적용하여 원자들이 빛을 복사하며 분자들을 형성하는데 대한 연구를 진행하였다. 도이췰란드의 괴팅겐종합대학은 이러한 활동의 중심이였다. 량자력학에 대한 탐구열의가 얼마나 높았던지 그곳에서는 때때로 커피집들의 식탁보우에마저 의미를 모르는 방정식들이 씌여지군 하였다. 하여 대학가까이의 커피집들에서 일하는 접대원들은 식탁보에 이상이 없는가 하는것을 검열받

은 다음에야 빨래집에 보내라는 지시까지 받는 형편이였다.

당시 괴팅겐에서 배우는것은 리론물리학자로 될것을 희망하는 대학생들에게 있어서 가장 중요한 조건으로 되고있었다.

## 핵골짜기를 들여다본 가모브

첨단과학인 량자력학에 뜻을 두려면 괴팅겐으로!

탐구열에 불타는 청년들의 심장을 울리는 시대의 부름을 안고 가모브도 괴팅겐으로 왔다. 아마도 이 걸음으로 하여 그는 물리학자, 우주학자, 유전학자로 력사에 이름을 남길수 있게 되였을것이다.

1904년 3월 4일 로씨야의 오데싸에서 출생한 죠지 가모브는 어릴 때부터 과학에 흥미를 가지고있었다. 하여 그의 아버지는 크나큰 기대를 안고 가모브가 13살되던 생일날에 그에게 망원경을 사주었다.

1926년에 레닌그라드종합대학을 졸업한 가모브는 앞날에 대한 생각으로 가슴을 들먹이였다. 박사학위까지 받고보니 보다 높은 곳으로 끝없이 오르고만싶은 욕망이 젊은 심장을 끓이였다. 그는 이미 량자력학의 기초원리들을 알고있었다. 또한 그것이 원자의 거동을 예언할수 있는 능력을 가진데 대하여 매혹되였다. 그러나 가모브는 발끝까지 리기주의로 가득찬 사람이였다.

수많은 학자들이 묵묵히 연구를 진행하고있는 일반물리학분야에서는 일하기가 싫었다. 멀리 앞으로 나가 그들을 뒤에 떨구고 이름을 내고싶었다. 그러자면 첨단에 서야 한다. 어디가 첨단인가? 오늘 누가 물리학의 제일 정점에 서있는가?…

그는 예리한 안목으로 세계의 과학발전을 주시하였다.

이 시기 큐리로부터 라더퍼드에 이르기까지의 많은 저명한 과학자들의 연구의 초점은 자연방사능이였다.

가모브는 원자핵에 대한 문제에 특별한 흥미를 가지였다.

…바로 이것이다. 나도 이길로 가야 한다. …

결국 가모브는 성급한 마음과 만만한 야심을 안고 새로운 량자력학연구의 중심지인 괴팅겐으로 오게 되였다. 그무렵 괴팅겐의 대다수 학자들은 량자력학을 원자들에 응용하기 위한 연구를 하고 있었다. 가모브는 그들과는 다른 새로운 문제를 찾고싶었다.

그러나 연구방향을 정하는것은 쉬운 일이 아니였다. 하지만 그에게는 어려운 정황들을 유모아로 아주 재치있게 표현하면서 뚫고 나가는 능력이 있었다. 대담하게 목표를 내세우고 살펴보니 빈 구석들이 보이기 시작하였다. 원자와는 달리 핵은 적게 연구되여있었던것이다.

당시 물리학자들은 핵은 양전하와 질량을 가지고있다는것을 알고 있었다. 또한 어떤 핵들은 자발적으로 여러가지 종류의 핵복사를 하고있었다. 방출의 한 종류인 $\alpha$립자들은 라더퍼드와 그의 동료들에 의해 광범히 연구되고있었다. 그들은 $\alpha$립자들이 헬리움원자들의 핵이며 그것들은 수소핵의 두배의 양전하를 띠고있다는것을 보여주었다. 임의의 핵이 언제 $\alpha$립자를 방출할것인가를 예언하기는 불가능하지만 개별적종류의 핵이 $\alpha$립자를 방출하는 속도는 특징지을수 있다. 한가지 형태의 핵으로부터 방출되는 $\alpha$립자들은 모두 한가지 에네르기를 가진다. 그리고 $\alpha$립자들이 방출되는 속도는 $\alpha$립자의 에네르기가 증가할 때 증가한다. 가모브는 양전하를 가진 핵은 $\alpha$립자를 전기적으로 배척한다는것을 알고있었다. $\alpha$립자가 핵안에 머무를수 있는것은 그것이 핵의 한계를 넘어서서는 영향을 주지 못하는 매우 강한 핵힘에 의해 유지되기때문이다. 이것은 마치 골짜기안에 공이 빠져서 나오지 못하는것과 비슷한것이였다.

만약 산꼭대기를 넘어서는데 충분한 에네르기를 가지지 못하면 산중턱까지 굴러올라갔던 공은 다시 아래로 굴러내려가게 된다. 그러나 그 언덕을 꼭 그렇게만 극복할수 있겠는가?

공이 언덕을 통과할수 있게 언덕밑에 굴을 판다면 그 공은 틀림없이 골짜기에서 빠져나와 언덕의 다른쪽 아래로 굴러내려갈것이다. 결국 $\alpha$립자는 핵힘의 언덕들에 의해 핵골짜기안에 붙들려있는 공과 같다고 볼수 있었다. 전기적밀힘은 $\alpha$립자가 언덕의 다른 측면에서 움직일 때 속도를 더하면서 미끄러져 내려가

게 하는 역할을 한다고 볼수 있었다. 가모브는 핵골짜기를 주의깊이 살피면 반드시 무엇인가가 보일것이라고 생각하였다.

누구도 주의를 돌리지 못하였던 이 핵골짜기는 그의 야심을 실현시켜줄수 있는 더없이 중요한 고리로 되였다.

가모브의 생각은 핵골짜기안으로 깊숙이 빠져들어가버렸다.

…량자력학은 어떤 립자들이 파동적본성을 가지고있으면 그 립자들은 전혀 도달할수 없는 공간령역으로 침투해들어갈수 있다는것을 예언한다. 하다면 핵골짜기안에서 앞뒤로 진동하는 $\alpha$립자의 경우에 그 립자는 매번 핵에네르기장벽들과 충돌하게 된다. 그런데 그것은 파동성을 가지고있다. 그렇다면?

바로 그렇기때문에 $\alpha$립자는 핵에네르기장벽을 침투해들어가서 전기적인 언덕아래로 떨어져 핵으로부터 달아날수 있는것이 아닌가? 물론 이것은 매우 작은 확률을 가질것이다. …

$\alpha$립자의 에네르기가 증가할 때 침투확률은 증가한다. …

결국 가모브는 핵의 이러한 량자모형에 수자들을 넣고 $\alpha$립자들이 방출되는 속도를 구하였으며 $\alpha$립자의 에네르기가 증가할 때 그 속도가 증가하는 방식을 예언하였다.

가모브가 얻은 결론은 원자와 마찬가지로 핵도 량자력학의 법칙을 따른다는것을 보여주었다. 하여 1928년에 그는 $\alpha$붕괴의 방사과정을 설명하기 위하여 $\alpha$립자들의 량자굴이행을 제기함으로써 물리학의 력사에 첫 공헌을 하였다. 즉 그는 처음으로 $\alpha$붕괴현상을 량자력학적굴효과로 해명하였던것이다.

원자핵에 대한 연구를 위하여 쾨뻰하븐으로 가게 된 가모브는 거기서 보르의 밑에서 일하면서 핵융합과 분렬에 대한 리론적기초를 세웠다. 1934년에는 에드워드 텔러와 함께 $\beta$붕괴리론을 연구하였다. 가모브는 천문학과 원소들의 기원에도 주목을 돌렸다. 하여 1948년에는 우주의 대폭발리론을 내놓아 소원대로 이름이 났다.

가모브는 열정적인 리론물리학자였을뿐아니라 유모아를 곧잘 하였다. 그가 쓴 련속과학통속이야기 《톰킨스씨》는 과학적허구를 써서 어려운 과학적내용들을 누구나 다 리해할수 있도록 설명한것으로 하여 유명하다. 그에게는 책에 나오는 주의력이 유

명하게 짧은 톰킨스를 포함하여 누구든지 과학의 세계에로 끌어들이는 재능이 있었다. 1956년에 가모브는 과학을 통속화한것으로 하여 유엔교육과학문화기구의 상을 받았다.

가모브는 물리학자였지만 1953년에 데핵산(DNA)에 대한 워트슨－크리크의 모형이 나왔을 때 제일 크게 흥분하였다. 그는 이 DNA의 2중라선구조모형으로부터 고무를 받아 DNA분자들의 순서가 단백질구조를 결정한다는 리론을 내놓았다. 그의 견해에 의하면 단백질의 구조문제는 핵산의 기초를 이루는 4개 문자들이 어떻게 결합되여 《단어들》을 이루는가 하는것을 알아내는 문제였다. 그가 내놓은 《금강석암호》는 1961년에 마셜 워린니렌버그가 유전암호를 알아낼수 있게 한 길을 열어놓았다.

$\alpha$붕괴에 대한 가모브의 해석은 괴팅겐에서 일하던 다른 물리학자인 프리쯔 하우터만의 마음을 사로잡았다. 하우터만은 자기자신에게 다음과 같은 질문을 해보았다.

…$\alpha$립자들이 핵의 에네르기장벽을 뚫고 핵들로부터 달아날수 있다면 거꾸로 $\alpha$립자들이 굴을 팔 때 보다 가벼운 핵들로부터 무거운 핵들이 이루어질수는 없겠는가? …

그는 $\alpha$립자가 핵안에 흡수될수 있을뿐아니라 그 과정에 에네르기가 방출될것이라고 생각하였다. 대단히 높은 온도에 있는 별들의 안에서 이 과정들이 진행된다면 거대한 에네르기원천을 제공할수 있으며 별들은 문자그대로 밝은 빛을 낼것이였다. 이것은 또한 별안에서 수소와 중수소부터 형성되는 원소들의 종류들도 결정하였다. 이리하여 핵에 대한 가모브의 물림새는 우주의 총체적인 구조를 결정하는데 도움을 주었다. 량자력학을 리용하여 $\alpha$붕괴를 설명하는데서 가모브가 이룩한 성과의 의의는 핵들을 량자물리의 론리로 취급할수 있다는것을 보여주었다는데 있다. 그리하여 그는 핵물리학분야에 대한 연구의 길을 열어놓았다.

하나의 핵이 보다 가벼운 핵을 방출한다는 사실은 핵이 복잡한 내부구조를 가진다는것을 보여준다. 바로 핵의 복잡한 그 구조에 대한 연구는 현대물리학자들에 의하여 지금도 진행되고있으며 앞으로는 새 세대들에 의하여 계속되게 될것이다.

# 대기도 압력을 가진다

기나긴 세월과 더불어 많고많은 사람들이 이 땅우에서 공기를 마시며 살아오고있다.

하지만 바로 그 공기가 우리에게 어떤 힘을 미치고있는가에 대하여 관심을 가져본 사람들은 과연 몇이나 되겠는가. 더우기 그 비밀을 밝혀내기 위하여 한생을 바쳐온 사람들은 많지 않다.

대기압 다시말하여 우리에게 가해지는 공기의 힘을 연구하여 물리학의 력사에 이름을 남긴 사람들은 이딸리아의 물리학자이며 수학자인 에반젤리스따 또리첼리(1608－1647년)와 이딸리아의 물리학자이며 천문학자인 갈릴레오 갈릴레이(1564－1642년) 그리고 갈릴레이의 제자이며 또리첼리의 선생인 베니데토 카스텔리, 프랑스의 철학자이며 수학자이며 물리학자인 블래즈 파스칼(1623－1662년), 도이췰란드의 물리학자인 오토 폰 게리케(1602－1686년), 영국의 물리학자이며 화학자인 로버트 보일(1627－1691년), 영국의 물리학자이며 보일의 조수인 로버트 후크(1635－1703년)이다.

## 갈릴레이를 계승한 또리첼리

공기가 질량을 가지고있다는것을 확증하여 대기압의 기초개념에 대한 명백한 정의를 처음으로 내놓은 사람은 또리첼리였다. 그의 연구는 지구가 대기를 잃어버리지 않으면서 우주공간속으로 움직이고있다는 갈릴레이의 사상을 립증하였다.

또리첼리는 원기둥안의 수은기둥의 높이변화를 매일 관찰하였는데 바로 이때부터 기상상태에 대한 과학적연구가 시작되였다.

또리첼리는 갈릴레이의 호감을 산 대학생이였고 베니데토 카스텔리의 제자로서 로마에서 갈릴레이의 론문들을 연구하였다. 카스텔리는 갈릴레이에게 또리첼리를 소개해준 사람이였다.

갈릴레이의 생애의 마지막석달동안 그의 조수로 일한 또리첼리는 갈릴레이가 사망한 후 이딸리아의 플로렌스아까데미에서 왕궁수학자로 있으면서 갈릴레이가 제기한 문제를 연구하는 과정에 수은기압계를 발명하게 되였다.

이 세상에 뽐프가 나올무렵 갈릴레이는 뽐프를 만든 사람들이 왜 1 036.32㎝의 높이까지밖에 물을 빨아올리지 못하는가를 알고싶어했다. 그러나 갈릴레이는 당시 《자연은 진공을 몹시 싫어한다.》는 스콜라철학에 흥미를 가지고있었던것으로 하여 《진공》이 약 1 037㎝까지만 뻗어있기때문이라고 보았다.

하지만 또리첼리는 이것을 공기에 적용된 갈릴레이의 중력의 개념과 결부시켜 생각해보았다. 갈릴레이는 사람은 약 80㎞정도 뻗어있는 《공기의 바다》의 바닥에서 살고있다고 제기하였던것이다. 갈릴레이의 이러한 중력의 개념은 분명 공기의 무게가 뽐프로 퍼올려지는 물을 끌어올린다는것을 암시한 정확한 설명이였다.

또리첼리는 자기 눈으로 이것을 확인하고싶었다.

그는 이에 대한 실험을 하기 위하여 101.6㎝인 유리관의 한쪽끝을 밀봉하고 거기에 수은을 가득 채웠다. 그리고는 그 관을 거꾸로 세워 열려진 관의 끝을 수은그릇에 담그어보았다. 이상하게도 이때 수은기둥은 완전히 비는것이 아니라 약 76㎝의 높이까지 수은이 차있는것이였다.

실험결과에 대하여 분석하면서 또리첼리는 같은 직경의 기둥안에 있는 1 036.33㎝의 물과 같은 무게를 가지는 이 76㎝의 수은기둥은 공기의 무게에 의해 유지된다고 주장했다. 그는 수은은 물보다 13.6배나 더 무거우므로 1 036.33㎝의 물은 그것을 13.6으로 나누면 공기의 무게와 평형을 이루는데 요구되는 약 76㎝의 수은기둥과 일치한다는것을 알고있었기때문에 이러한 결과를 기대했던것이다. $1in^2$(평방인치)의 가로자름면을 가진 약 76㎝의 수은기둥은 약 6.8㎏의 질량을 가지므로 공기의 압력은 바다준위

에서 약 776㎜Hg 혹은 약 754㎜Hg이다. 또리첼리는 또한 수은기둥의 높이는 대기압의 변화로 하여 매일 변한다는것을 관찰하였다. 이것은 후에 기상학과 증기기관의 발전에서 중요하게 리용되였다.

진공은 론리적으로 불가능하다고 한 아리스토텔레스의 론법을 그대로 받아들이고있던 그 시대의 스콜라철학의 견해와는 반대로 또리첼리는 수은기둥의 꼭대기에 있는 공간을 진공이라고 주장하였다. 그가 주장한 《또리첼리의 진공》은 처음으로 제기된 진공이였다. 또리첼리는 두가지 개념 즉 진공이 존재할수 있다는것과 지구가 우주의 진공속으로 운동한다는데 대한 중대한 안받침으로써 지구에 《공기의 바다》가 유지된다는것을 보여주었다.

또리첼리는 로마에서 1644년 6월 11일에 카스텔리와 자기의 친근한 친구에게 보낸 편지에서 수은기압계에 대하여 처음으로 서술하였다. 1644년말에 그는 이딸리아의 플로렌스에서 《기하학연구》를 출판하였는데 거기에는 굴렁선에 대한 최초의 기하학정리들, 투영운동에 대한 연구, 그릇안의 구멍으로부터 흘러나오는 류체의 속도를 결정하기 위한 또리첼리의 법칙으로 알려진 방정식을 얻어낸 류체에 대한 연구들이 포함되여있다. 또리첼리의 이름은 낮은 압력에 대한 연구와 함께 torr(토르)라고 불리우는 압력의 단위로서 물리학의 력사에 남아있게 되였다. torr는 1㎜Hg의 압력에 해당한다. 표준대기압은 760torr(760㎜Hg)로 정의된다.

1Torr(torr)=1㎜Hg=133.322 4㎩이다.

## 파스칼은 무엇을 하였는가?

대기압과 진공에 대한 또리첼리의 연구결과는 아주 정확하였다. 많은 다른 실험가들이 그에게서 큰 영향을 받았다.

프랑스의 블래즈 파스칼은 공기가 무게를 가지고있다면 그것은 높이에 따라 줄어들어야 한다고 생각하였다. 그는 자기의 이 생각을 직접 확인하고싶어 1646년에 처남과 약속하고 수은기압계를 가지고

프랑스중부에 있는 1 634m의 쀠이드돔산에 올라갔다.

그가 생각한대로 수은기둥의 높이는 바다준위에서는 76㎝이지만 바다준위로부터 약 1 609m높이에서는 약 70㎝로 떨어지는것이였다. 이에 기초하여 그는 고도계의 개념을 내놓을수 있었다.

파스칼은 공기의 압력에 대하여 깊이 연구하는 과정에 폭풍이 일어나게 될 조건들은 보통 공기압력이 떨어지면서 먼저 형성된다는데 대하여 주목하게 되였으며 기압계를 리용하여 날씨를 예보할것을 제기하였다.

파스칼은 또한 또리첼리의 수은기압계의 원리를 물과 포도주를 써서 검토하였다. 그는 14m의 관안에 붉은 포도주를 넣고 또리첼리의 실험을 되풀이해보았다.

실험을 통하여 파스칼은 수은기둥이 기둥의 맨 꼭대기에서 증기에 의하여 유지되기때문에 진공을 방해한다는 생각이 틀린다는것을 론증하였다.

기둥의 맨 꼭대기에 있는 빈공간이 진공이 아니라 정말로 증기로 차있다면 휘발성을 가지고있는 포도주는 물보다 더 아래로 내려가야 한다. 그러나 그것이 진공이라면 낮은 밀도의 포도주는 공기의 무게와 균형이 잡히도록 물보다 더 적게 떨어져야 하는것이다. 이것은 실지로 실험에서 관찰되였다.

그는 액체와 기체의 압력에 대한 연구를 심화시켜 류체에 가해진 압력은 모든 방향으로 꼭같이 전달되며 류체의 모든 면에 수직으로 작용한다는 원리인 파스칼의 원리를 발견하였다.

MKS단위계에서는 압력의 단위로 파스칼의 이름으로 불리우는 단위를 쓴다.

## 마그데부르그의 반구실험

또리첼리에 의하여 수은기압계가 발명됨으로써 공기압력의 개념을 받아들이게 되였다. 이것은 진공이 존재한다는것을 보여주었다. 또리

첼리의 연구는 꼬뻬르니끄의 리론과 지구에 대한 갈릴레이의 주장에 의해 제기된 문제들중의 하나인 지구가 운동상태에 있다면 지구는 운동과정에 《공기의 바다》를 끌고가야 한다는 문제를 해결하였다.

결국 공기에 작용하며 공기의 압력이 생겨나게 하는 중력은 지구둘레에 공기를 유지하게 해주는것이다.

만일 대기가 없어지지 않는다면 그 주위공간은 진공이여야 한다.

공기의 압력과 진공에 대한 이러한 연구결과는 많은 사람들을 흥분시켰다.

바로 그 결과에 기초하여 도이췰란드의 엘베강연안에 있는 공업도시인 마그데부르그시장이였던 기사 오토 폰 게리케는 1650년에 공기뽐프를 발명하였다.

그는 공기를 뽑아버린 원기둥안에 밀폐된 피스톤은 20명의 사람들의 힘에 의해서도 움직일수 없다는것을 보여주었다.

1654년에는 청동으로 직경이 약 40㎝정도 되는 종모양의 두개의 반구를 만들고는 그것들을 밀랍과 테르펜유를 먹인 가죽을 틈막이재료로 하여 가장자리를 따라 공기가 새지 않게 꼭 맞붙여놓고 진공뽐프로 그안의 공기를 힘껏 빨아낸 다음 진공의 힘과 대기압의 존재를 보여주는 공개실험을 진행하였다.

이렇게 하면 구의 안쪽이 진공에 가깝기때문에 두 반구는 대기압에 의해 세게 밀착되게 되는것이다. 이때 두개의 반구를 결합시키는 힘은 반구의 자름면면적에 작용하는 대기압력과 같다.

계산에 의하면 자름면면적은 0.13㎡정도이고 1기압은 약 $10^5$㎩이기때문에 그 힘은 약 $10^4$N에 해당된다.

이 힘이 마그데부르그의 반구들을 단단히 붙여놓았기때문에 이날 게리케의 실험은 반구의 한쪽에 8마리씩 량쪽에 모두 16마리의 말을 메워 잡아당겨서야 끝났다.

진공의 위력 즉 대기압의 세기를 실제적으로 보여준 게리케의 이 실험으로 하여 마그데부르그는 력사적인 도시로 되였으며 오늘도 사람들은 게리케가 진행한 첫 진공실험을 《마그데부르그의 반구실험》이라고 부르고있다.

# 원자핵과 씨름한 사람들

물질의 구조를 연구하면서 많은 물리학자들이 화학의 세계에도 뛰여들게 되였다. 특히 원자핵에 대하여 보다 깊이있는 연구가 진행되였다. 영국의 물리학자인 어니스트 라더퍼드는 방사성원소들을 가지고 실험을 하는 과정에 원자핵을 발견하였다. 방사성원소는 자연붕괴를 일으킨다. 결국 그는 원자가 영원불변한 물질의 최소단위가 아니라는것을 발견하였던것이다. 그 과정에 그는 원자의 본성을 갈라낼수 있는 사실을 추리해냄으로써 1908년에 노벨화학상을 받았다.

전자의 발견으로 1906년에 노벨물리학상을 받은 영국물리학자인 죠우지프 존 톰슨(1856－1940년), 라더퍼드의 조수였던 도이췰란드의 물리학자 한스 가이게르(1882－1945년), 1922년에 《원자의 구조와 그 복사에 관한 연구》로 노벨물리학상을 받은 단마르크의 물리학자 닐스 보르(1885－1962년) 등 많은 과학자들의 한생이 원자핵과 얽혀져있다.

## 대담하게 버린 과자모형

일찌기 그리스사람들은 아주 작은 립자들을 《atomos》라고 부르고 이것들은 더는 쪼갤수 없다고 주장하였다. 영국에서는 이것이 《atom》으로 되였다. 원자론은 17세기에 영국의 물리학자이며 화학자인 로버트 보일에 의해 어느 정도 세워졌으나 현대적견지에서 보면 그것은 여전히 확고한 과학적근거가 없는것이였다.

원자과학이 확고한 과학으로 전환된것은 1897년 4월 29일이라고 볼수 있다. 바로 그날저녁 죠우지프 톰슨은 원자보다 훨씬 작은 립자들을 발견했다고 발표하고 그것을 《미립자》라고 불렀다. 그것이 후날 《전자》라는 이름으로 불리운것이다. 톰슨의 발견은 원자들이 존재할뿐아니라 그것들이 그보다 더 작은 립자들로 이루어져있다는것을 보여주었다. 톰슨의 리론에 의하면 원자는 큰 체적속을 류동하는 양으로 대전된 물질과 류체안에 갇혀있는 음으로 대전된 작은 전자들을 포함한다. 톰슨은 원자를 《마른 포도알이 박혀있는 과자》와 비슷한 집합체로 묘사하였다.

원자에 대한 새로운 견해는 1907년에 영국의 맨치스터에서 라더퍼드에 의해 세워졌다. 12명의 자식을 가진 뉴질랜드의 농촌가정에서 태여난 라더퍼드는 배움에 대한 열망이 대단히 높았다. 하여 그는 대학공부를 한 후에도 1895년에 영국의 케임브리지에 있는 명성높은 캐븐디쉬실험실에 들어가 많은것을 배웠다. 거기서 막스웰, 레일리와 그의 스승인 톰슨과 같은 우수한 과학자들과 연구사업을 하였다. 라더퍼드는 방사성원자로부터 나오는 립자들을 가지고 실험을 진행하였는데 한스 가이게르와 어니스트 마스덴이라는 대학생이 그를 도와주었다. 실험들은 마침내 립자들과 그것들의 본성을 확증할수 있게 하였다.

톰슨의 연구로부터 학자들은 충분한 자료들을 얻을수 있었다.

라더퍼드는 전자는 원자의 한 부분이며 전체 원자보다 더 가볍고 작다는데 대하여 또한 전자의 전하가 음전하라는것 그리고 원자의 나머지 부분은 전자보다 훨씬 무거우며 양전하를 가진다는것도 알고있었다.

라더퍼드가 조사하고있던 방사성물질에서 방사되는 립자들 즉 $\alpha$립자들은 전자들보다 훨씬 무거웠으나 전체 원자보다는 훨씬 작았다. 그가 애를 먹은 문제는 $\alpha$립자도 전자와 마찬가지로 원자의 한 부분인가 아닌가 하는것이였다. 가이게르, 마스덴과 함께 라더퍼드는 1900년에 이를 해명하기 위한 실험들을 시작하였다. 그들은 한걸음한걸음 과학의 세계에로 깊이 들어가기 시작하였다.

당시 라더퍼드가 리용한 실험장치들은 20세기 후반기에 물리

학자들이 리용한 장치에 비하면 아주 간단한것들이였다.

$\alpha$립자방사기가 붙어있는 유리관으로 이루어져있는 장치의 다른 끝에는 금박막표적이 있었고 그뒤에 검출기로 작용하는 형광빛막이 있었다. 라더퍼드는 실험에서 방사성원소로부터 나온 $\alpha$립자는 그 원천으로부터 관을 따라 질주하여 매우 얇은 금박막의 원자들을 때릴것이라는 리론을 내놓았다.

원자들이 톰슨이 생각하던 마른 포도알이 박혀있는 과자모형으로 구성되여있다면 무거운 $\alpha$립자가 전자들을 타격할 때 $\alpha$립자들은 아주 약하게 산란되거나 전혀 산란되지 않을것이다.

라더퍼드는 금박막을 때리고 나오는 아주 작은 빛반점들을 측정함으로써 산란각을 계산할수 있었다. 그는 간접적으로 $\alpha$립자의 질량을 결정하였던것이다. 그는 아주 작은 전자들을 때리는 경우에 그것보다 무거운 $\alpha$립자들의 산란은 극히 작을것이지만 아주 묘한 환경에서 이 립자들중의 하나가 원자를 통과하는 경로우에서 전자들과 련속 만나게 된다면 그 산란각은 45°이상으로 되여야 할것이라고 판단하였다.

가이게르, 마스덴과 함께 라더퍼드는 완전히 어두운 실험실에서 확대경을 통하여 형광막우에서 거의나 보이지 않는 섬광의 수를 세였다. 높은 집중력과 인내성을 요구하는 아주 정밀한 작업이였다. 꾸준한 실험으로 그들은 곧 놀라운 효과를 발견하였다.

약 8 000개의 $\alpha$립자들중의 하나가 45°이상으로부터 180°까지 변하는 각도에서 검출되였던것이다. 마른 포도알이 박혀있는 과자모형으로는 이러한 센 산란을 결코 설명할수 없다는것이 명백해졌다.

라더퍼드는 핵이 아마도 가정했던것보다 굉장히 더 큰 전하를 가지고있으며 $\alpha$립자는 태양계안에서 운동하는 혜성과 같이 원자핵안에서 움직인다고 생각하였다. 하여 그는 마른 포도알이 박혀있는 과자모형을 대담하게 버리기로 결심하였다.

그리고는 원자가 그것의 전체 체적의 대단히 작은 부분만을 차지하는 아주 작은 핵을 포함하고있으며 그 핵은 원자의 거의 모든 질량을 가진다는 주장을 내세웠다. 이것은 톰슨의 가정과는 다른 전혀 새로운것이였다.

그의 가정에 의하면 전자들은 물질이 꽉 들어찬 핵으로부터 매우 먼 거리들에서 자리길을 따라 돌아가는 아주 작고 대단히 가벼운 립자들이였다. 라더퍼드는 실험결과를 정리한 리론을 1912년 3월에 제출하였다.

핵에 대한 그의 견해는 정확하였다. 그러나 전자들은 고전적인 견지에서의 《자리길》을 따라 돌수 없다. 전자들은 후날 보르가 증명한것처럼 량자상태에서 존재하는것이다.

전자에 대한 량자리론을 세우는 과정에 보르는 물리학의 면모를 근본적으로 변화시킬수 있었다.

결국 라더퍼드의 발견은 고전물리학에서 마지막으로 이루어진 중대한 발견으로 보아야 할것이다. 1913년에 라더퍼드의 구상은 보르의 량자적견해에 의해 바꾸어졌다.

# 보다 높은 단계에로

물질이 아주 작은 개별적인 립자들로 이루어져있다는것은 순수한 추측에 지나지 않은것이였으나 증명할 방도가 없어 수천년동안이나 추측으로 남아있었다.

점차 사람들은 이에 대하여 확고히 믿게 되였다. 많은 학자들은 이 립자들에 대하여 제나름의 견해를 세웠다.

톰슨이 생각한 원자는 물질로 꽉 차있었다.

라더퍼드의 연구에 의하면 원자들에서 대부분의 공간은 비여있다. 그는 당대에 인정되고있던 지식의 틀거리안에서 가능한만큼 원자의 내부를 깊이 연구하였다. 하여 1914년에는 세계적으로 이름나게 되였으며 영국의 귀족칭호를 받았다.

그는 그후에 원자자체의 본성을 밝히는데서 방사성을 리용하기 시작하였다.

그러나 현실은 새로운 과학인 원자에 대한 리론을 보다 높은 단계에서 한층더 깊이있게 발전시킬것을 요구하였다. 하여 물질과 복

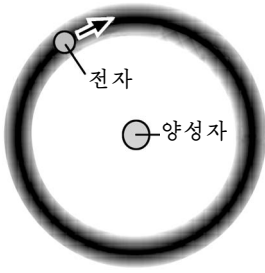



그림 1. 하나의 양성자로 이루어진 수소의 원자핵

사의 호상작용, 원자구조들을 취급하는 량자력학에 의하여 원자와 크기가 같거나 원자보다 훨씬 작은 모든 대상들이 묘사되게 되였다.

량자력학은 상대성리론에 관한 아인슈타인의 연구와 함께 물리학을 새롭게 정립하도록 하였으며 모든 물질과 에네르기의 본성을 새로운 립장에서 밝힐수 있게 하였던것이다.

플랑크와 보르는 각각 량자력학에 기초하여 원자물리의 리론적결론들을 이끌어냈고 라더퍼드와 그의 동료들은 실험적인 결과들을 제공했다.

라더퍼드는 1917년에 원자를 포격하여 예언한 립자들이 방출된다는것을 보여줌으로써 량자적견해에 기초한 보르의 리론이 정당하다는것을 증명하였다.

라더퍼드는 제1차 세계대전기간에는 물밑에서의 잠수함을 탐지하는 방법을 발명할 명령을 받고 음파의 리용에 관심을 돌리였다.

1919년에 톰슨이 캐븐디쉬연구소 소장을 그만두자 그자리를 차지한 라더퍼드는 세계를 원자물리에로 이끌었다.

1930년대에 많은 유태인과학자들이 나치스도이췰란드로부터 망명했을 때 라더퍼드는 그들의 보호자로 되였다. 그는 캐븐디쉬에서 일하는 막스 보른을 노벨상수상자로 되게 하였으며 이전 쏘련물리학자 뾰뜨르 까삐짜를 성의껏 도와주었다.

## 원자의 모형을 찾아

라더퍼드의 원자핵모형에 막스 플랑크의 량자리론을 적용하면 많은 원자현상들을 리론적으로 설명할수 있었다. 여기서 중요한 역할을 한 사람은 단마르크물리학자 닐스 보르였다.

1897년에 전자를 발견한 톰슨은 그에 기초하여 다음과 같은 원

자모형을 제기하였다.

…원자의 중심에는 구모양의 핵이 있는데 그것은 양전하를 띠고 있으며 이 핵주위에서 음전기를 띤 전자가 돌고있다.

또한 모든 전자들은 같은 평면우의 각안에서 움직이며 원자질량의 대부분을 차지한다. …

대다수의 과학자들이 이 모형을 받아들이였다.

1911년에 톰슨과 함께 케임브리지종합대학에서 사업하면서 보르는 금속의 전자론에 대한 박사론문을 완성하고있었다. 그후에는 맨치스터로 가서 라더퍼드와 함께 연구를 진행하였다.

바로 그때 라더퍼드는 원자의 다른 모형 즉 양으로 대전된 핵은 원자전체보다 훨씬 작다는 모형을 제기하였다.

핵의 크기는 대단히 작지만 그것의 질량은 대단히 크다는것이였다. 그러나 라더퍼드의 이 모형에서는 심각한 문제가 제기되였다.

그 시기에 알려진 막스웰의 전자기마당리론에 의하면 라더퍼드가 제기한 원자는 불안정하다는 결론이 나왔던것이다.

그러나 보르의 모형은 정상자리길에 기초하고있었다.

보르는 챨즈 다윈의 손자이며 수학자인 챨즈 갈톤 다윈이 $\alpha$선의 흡수에 대하여 쓴 론문을 읽은 후 이 문제에 흥미를 가지게 되였다. 그는 론문에 일부 오유가 있다는것을 주목하게 되였다. 고전력학은 원자가 어떻게 안정하게 남아있게 되는가를 설명할 수 없었던것이다. 하여 보르는 플랑크의 량자리론으로 돌아갈 결심을 가지게 되였다.

그림 2. 3개의 양성자와 4개의 중성자로 이루어진 리티움원자핵

그는 전자가 핵둘레로 안정하게 돌기 위하여서는 어떤 정확한 에네르기량을 가져야 한다고 가정하였다.

이 에네르기량은 플랑크에 의해 발견된 플랑크상수에 의하여

결정된다. 보르는 이러한 안정한 자리길을 《정상상태》라고 불렀다.

보르의 원자모형에서 전자들은 불련속적인 상태들에서 핵둘레를 돌고있다.

전자들이 높은 에네르기자리길로부터 낮은 에네르기자리길로 이행할 때 여분의 에네르기가 빛량자로 방출된다.

이 리론에 기초하여 보르는 원소주기표에서 많은 다른 화학원소들사이의 호상관계와 그것들의 자리에 대하여 설명할수 있었다.

그는 원소가 얼마나 불안정한가를 결정하는 방사성특성이 원자핵에 관계되며 원소가 분자를 형성하기 위하여 다른 원소들과 어떻게 결합하는가를 결정하는 화학적특성은 원자안에 있는 전자들의 수에 의존한다는것을 제기하였다.

또한 원자들이 어떻게 서로 다른 에네르기상태로 넘어갈수 있는가를 관찰했으며 원자들에서 복사되는 스펙트르선과 관련하여 관측된 현상들의 일부를 설명하였다.

보르는 전자들이 톰슨이 생각한것처럼 하나의 안정한 자리길이 아니라 원자핵둘레의 각이한 안정한 자리길 혹은 정상상태에서 움직일수 있다는것을 발견하였다.

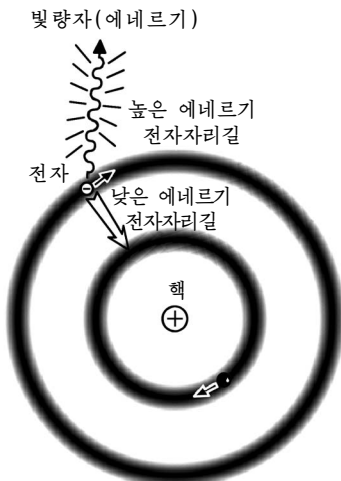



그림 3. 보르의 원자모형

그의 리론에 의하면 전자들이 핵으로부터 멀리 있는 보다 높은 에네르기를 가지는 자리길로부터 핵에 가까운 보다 낮은 에네르기자리길에로 혹은 그 반대로 이행하는것이 가능하였다.

전자는 원자밖으로부터 에네르기를 받으면 보다 높은 에네르기자리길로 이행할수 있으며 에네르기를 내보내면 보다 낮은 에네르기자리길에로 이행한다.

전자가 내보내거나 받아들인 에네르기는 스펙트르선 즉 원자

가 내보낸 빛스펙트르에서 밝고 어두운 선으로서 나타날것이다. 전자가 에네르기를 받아들인다면 이러한 선은 흡수선일것이다.

보르는 원자에 대한 이러한 견해를 1913년에 발표한 3건의 론문들에서 밝히였다.

이 론문은 결국 20세기 물리학을 지배할수 있게 한 량자력학의 길을 열어놓았다.

그에 대한 반응은 각이하였다.

그 시기 대다수 물리학자들은 아직 플랑크의 량자리론이 현실에서 관찰되는 물리적현상들에 대하여 그 어떤 효과를 나타낼수 있다는것을 믿지 않고있었다.

그러나 보르의 리론이 이전에는 충분히 설명할수 없었던 원자에서 복사된 스펙트르의 세부를 설명하기 시작하였을 때 학자들의 태도는 달라졌다.

보다 많은 물리학자들이 새로운 원자모형을 받아들이기 시작했다. 대응원리로 불리우는 그의 리론의 한 부분은 현대물리학전체를 대표하는 량자리론의 총체적인 발전에서 특별히 중요한 자리를 차지하게 되였다.

대응원리에 의하면 량자력학의 결과들은 고전법칙들이 타당한 물리적현상들의 령역에서 고전력학의 결과들과 대립되지 않는다. 그러므로 보르의 초기리론은 물리학의 다른 령역에로 확장되였다.

사실 보르의 리론은 하나의 전자를 가진 원자에 대하여서만 아주 정확한 예언을 할수 있었다.

하나이상의 전자를 가진 원자들에 적용될 때는 믿음성이 적었다.

하여 보르는 1920년대에 이 부족점을 극복한 모순이 없는 리론을 제기하였다.

그는 물리학에 공헌했으며 량자력학을 발전시켜온 물리학자들을 키워내는데 크게 기여하였다.

비록 아인슈타인처럼 유명해지지는 못했지만 그의 연구는 물리학력사에서 가장 중요한것에 속하는것이였다.

# 물질의 원자론

세월의 흐름과 함께 원자의 비밀세계는 보다 더 많은 모습을 드러내기 시작하였다. 마침내 원자에 대하여 론하는 원자론이 출현하였다. 원자론은 자연계에서 물질의 최종적인 구성요소를 원자라고 보는 리론으로서 모든 물질은 원자로 이루어지고 원자들은 일정한 비례로 결합한다고 본다.

영국의 화학자이며 물리학자인 죤 돌턴(1766－1844년), 영국의 화학자인 토머스 톰슨(1773－1852년), 프랑스의 화학자인 앙뚜안느 로랑 라부아지에(1743－1794년), 스웨리예의 화학자인 왼스 야코브 베르셀리우스(1779－1848년), 프랑스의 화학자이며 물리학자, 기상학자인 죠재프 루이 개 뤼싸끄(1778－1850년) 등 많은 과학자들이 원자론과 더불어 물리학의 력사에 이름을 남기였다.

현대적인 원자개념의 기초로 되는 원자론은 1805년에 돌턴에 의하여 제기되였다. 돌턴에 의하여 물질의 원자론이 세워지고 원자질량의 첫 도표가 만들어진것은 화학의 발전에 큰 영향을 주었으며 량자화학의 기초를 마련해주었다.

## 방향전환을 한 돌턴

오늘 현대원자리론의 아버지로 불리우고있는 돌턴은 대기에 대한 연구로부터 원자에로 방향전환을 한 과학자였다고 볼수 있다.

돌턴이 물질의 원자론을 제시하기 전까지는 사람들의 머리속에 고대그리스의 원자론의 창시자인 레우키포스(B. C. 500－B. C. 440년경)와 그의 제자로 알려져있는 데모크리토스(B. C. 460

－B. C. 370년경)가 초기에 내놓은 아주 단순한 원자들의 개념이 남아있었다. 원자라는 개념을 처음으로 내놓은 사람은 바로 레우키포스였다. 그리스어로 원자를 《아톰》이라고 하는데 이것은 접두사 《아》(아니다)와 동사 《도미스》(분해하다)가 결합된것으로서 《더는 분해될수 없는 미립자》를 의미한다. 원자에 대한 이러한 견해는 후에 데모크리토스에 의하여 계승되고 완성되였었다. 그러나 오늘의 원자론은 대기를 연구하던 이름없던 과학자였던 돌턴에 의하여 세워지게 되였다.

어린시절부터 과학적관찰들에 특별한 취미를 가지고있은 돌턴은 거의나 독학으로 공부하는 과정에 자기가 얻은 자료들의 모임을 설명할수 있는 리론을 세우는 직관적인 능력을 가지게 되였다. 그는 1787년부터 1844년사이에 매일 꾸준히 날씨를 관찰했는데 그 나날에 그가 책에 기록한 기상학적관찰결과는 무려 20만건이상이나 되였다. 이러한 과정에 그는 대기속에서 기체의 성분과 특성들을 연구하는데 관심을 가지게 되였다. 결국 그는 물이 공기와 혼합된 기체로서 존재하며 공기와 같은 공간을 차지한다는것을 알게 되였다.

돌턴은 영국의 전통적인 《뉴톤주의》 즉 물질의 내부구조와 가까운 거리힘의 작용에 기초하여 세계를 보는 방법의 영향을 크게 받았다. 뉴톤은 이러한 힘들을 수학적으로 묘사할수 있다는것을 보여주었던것이다.

돌턴은 또한 기압계, 비량계, 열량계, 습도계 등 과학적응용들에 흥미를 가지였다. 그는 남반구의 아열대고기압대로부터 적도저압부로 향하여 부는 바람인 무역풍에 대하여 론의했으며 북극의 극광리론을 제기했고 비내림리론을 제기했다.

그의 기상학적연구는 공기속에서 기체가 어떻게 함께 유지되는가 하는 문제를 생각하게 하였다. 그것들이 화학적으로 결합되였는가 혹은 바로 모래나 돌들이 지구에 있는것처럼 서로 물리적으로 혼합되여있는가?

그는 기체립자들의 성분은 물리적으로 함께 혼합되여있다고 결론하였다. 이러한 결론으로부터 그는 같은 온도에 있는 혼합기체들에서의 매개 성분기체는 독립적으로 행동한다는것을 추리하게

되였고 돌턴의 분압법칙을 내놓았다. 돌턴은 바로 자기의 이러한 물리적견해에 대한 증명을 얻어내기 위하여 시도하는 과정에 화학원자론을 발견하였다고 볼수 있다. 그는 기상학에 흥미를 가지고 출발하여 결국은 화학에로 접근하는 새로운 길에 들어서게 되였던것이다. 그러나 그가 처음에 맨치스터의 잡지에 원자의 질량에 대해 발표했을 때는 큰 반응을 일으키지 못하였다.

런던왕립연구소의 함프리 데이비는 돌턴의 견해를 보잘것없는 순수 추리로 보고 부정하였다. 그러나 돌턴은 참고 견디였다. 그는 조금도 동요하거나 물러서지 않고 연구를 계속하여 1804년에는 서로 다른 탄화수소들에 대한 공식을 내놓았다.

초기에 다른 과학자들로부터 큰 주목을 끌지 못하였던 돌턴의 원자론이 큰 흥미를 불러일으킨것은 토머스 톰슨이 1807년에 《화학의 체계》를, 1808년에 《화학철학의 새로운 체계》를 발표한 다음부터였다. 이 발표로 하여 화학원자리론이 공표되였던것이다.

## 원자의 질량을 파고들어

1803년에 죤 돌턴은 론문 《물과 다른 액체들에 의한 기체의 흡수》를 집필하였다. 1805년에 출판된 이 론문의 거의 마감에서 그는 물질의 원자론을 제기하였으며 원자의 질량에 대한 표를 처음으로 공개하였다.

원자에 대한 그의 개념은 측정할수 있는 질량의 속성과 직접 관련되여있다. 그는 물, 암모니아, 이산화탄소 그리고 몇가지 다른 물질들에 대하여 할수 있는 화학적분석으로부터 출발하여 많은 원자들의 상대적질량을 결정하였다.

돌턴은 화학결합은 언제나 가장 적은 수의 원자들로부터 가능한껏 가장 간단한 방법으로 일어난다고 가정했다.

이로부터 그는 서로 다른 질량을 가진 립자들이 화학적으로 결합할수 있다는 원리에 도달하였다. 그런데 이러한 원리는 그가 다

만 하나의 수소원자가 물을 형성하기 위하여 산소와 결합한다는 그릇된 가정을 하게 하였다.

결과 그는 산소원자들이 수소원자들보다 8배 무겁다는 결론을 내렸다. 그러나 그후 죠재프 개 뤼싸끄에 의해 진행된 실험들은 두개의 수소원자가 산소와 결합하여 물을 형성한다는것을 보여주었다.

이것은 원자질량들에 대한 돌턴의 표를 수정할것을 요구했다.

그런데 이상하게도 돌턴은 자기의 연구에 다른 과학자들이 간섭하는것을 두려워한 아주 독선적인 과학자였다. 하여 그는 개 뤼싸끄의 이 발견을 받아들이기 싫어했다. 그리고는 1803년에는 영국의 런던에서, 1805년에는 영국의 맨치스터에서, 1807년에는 스코틀랜드의 에딘바러에서 강의들에 련속 출연하면서 물질의 원자론을 더욱 발전시켰다.

그러면 어떻게 되여 돌턴은 그처럼 원자론의 세계에로 깊숙이 끌려들어가게 되였는가.

돌턴을 원자론에로 이끌어가게 된 동기는 돌턴이 죽은 후 화학자 헨리 로스코우에 의해 발견되였다. 로스코우는 돌턴이 남긴 책들을 주의깊이 연구하는 과정에 그가 서로 다른 밀도를 가지는 기체들이 충돌로 갈라질 대신 서로 혼합되여있다는것을 관찰한데로부터 물질의 원자론을 내놓았다는 결론을 내렸다.

돌턴은 또한 원소들이 혼합물을 형성하기 위하여 일정한 몫으로 결합한다는 견해에 의해서도 자극을 받았다. 1800년에 죠세프 프로우스트가 제안한 이 견해는 돌턴으로 하여금 원소의 개념과 원자에 대한 견해를 관련시키도록 하였던것이다.

사실 돌턴의 실험들은 집에서 만든 거친 실험장치들로 진행되였기때문에 아주 정확하지 못한 자료들을 주기도 하였다.

그러나 바로 그것들에 기초하여 돌턴은 독창적인 사색으로 관찰되는 자료들을 설명하는데 필요한 실마리를 찾아내였던것이다.

하지만 돌턴의 실험일지들에는 수정한 부분들이 많고 또 많은 자료들이 부족한것으로 하여 그가 언제 물질의 원자론을 내놓았는가 하는 정확한 시간을 결정하는것은 거의 불가능하다.

# 다섯가지의 기본원리

1808년에 돌턴은 자기의 원자론의 세부를 발표하였다. 그의 원자론은 다섯가지 기본원리로 요약할수 있다.

(1) 모든 물질은 원자라고 하는 작은 립자들로 구성되여있다.

(2) 원자들은 물질을 구성하는 가장 작은 존재물들이다. 그것들을 다시 쪼개거나 새롭게 만들어내거나 파괴할수 없다.

(3) 고유한 원소의 원자들은 크기와 질량 그리고 다른 모든 속성들이 같다. 서로 다른 원소들로 이루어진 원자들은 크기나 질량 그리고 다른 속성들이 차이난다.

(4) 서로 다른 원소들의 원자들은 단순히 정의옹근수비들로 결합하여 화합물들을 형성한다.

(5) 원자들은 화학반응에 의하여 결합되거나 분리되며 혹은 재배렬된다.

돌턴은 원소를 하나의 종류의 원자만으로 이루어진 물질이라고 정의했다. 그의 리론은 화학성분들을 새롭게 표현하는 고유한 방법을 제공해주었다. 그는 원소기호에 의하여 원소를 표시할데 대하여서도 발명하였다. 원소기호들은 서로 다른 원소들을 결합하여 여러가지 성분들의 분자구조들이 생긴다는것을 화학식으로 표시하는데 리용되였다. 돌턴은 첫 원소주기표를 구성했고 원소들을 분류하기 위하여 원안에 배렬한 분자들과 기호들을 리용하였다. 그러나 후날 왼스 야코브 베르셀리우스는 이러한 원들이 필요없으며 지금의 원소주기표에 리용된 하나 혹은 두개의 분자기호들이면 충분하다는것을 지적했다.

물질의 원자론에 기초하여 돌턴과 다른 과학자들은 화학의 많은 원리들을 간단히 설명할수 있었다. 이것은 새롭고 매우 현실성있는 모형을 화학자들에게 제공하였다. 두개의 자연의 기본법칙 즉 질량보존의 법칙과 조성일정의 법칙이 바로 이로부터 나오게 되였다. 즉 돌턴의 리론은 질량은 화학반응이나 물리적반응들에서 결

코 창조될수도 파괴될수도 없다는 사실을 설명했다.

이것은 1789년경에 라부아지에에 의해서 정식화된 질량보존의 법칙으로 알려져있다. 돌턴의 리론은 또한 모든 화학성분은 질량에 의해 한정된 성분을 가지고있다는 조성일정의 법칙을 설명했다. 임의의 개별적인 화학반응에서 생성물과 반응물의 량들은 항상 기체의 체적에서 혹은 분자들의 수에서 같은 일정한 비률로 변화된다. 이러한 법칙들은 마침내 원소주기표를 낳게 하였다. 더우기 원자들의 존재에 대한 그의 리론은 많은 확증된 실험결과들을 설명할수 있게 한다.

1808년말에 돌턴은 기상학과 관련된 연구에 다시한번 노력을 집중했다. 그는 또한 자주 비공식적인 담화들이나 과학적인 모임들에서 자기의 물질의 원자론을 변호하였다. 그러나 그는 원자들을 굳고 쪼갤수 없는것으로 묘사하였다. 때문에 그의 리론은 원자의 구조나 그것의 성분들에 대한 견해를 제공할수 없었다. 결국 돌턴의 리론은 서로 다른 원소들의 원자들이 함께 결합할수 있는 방법에 대해서는 설명을 주지 못하였다. 다만 이러한 현상들을 설명하기 위한 기초로 되였을뿐이다.

돌턴의 리론은 오늘도 여전히 많은 화학제품들과 화합물들의 특성을 설명하는데 리용되고있다. 그의 리론은 원자의 내부구조를 이루는 소립자들의 존재와 원자들의 동위원소들의 존재를 포함하는 새로운 관찰들을 설명하는데로 확장되였다. 여러가지 동위원소들은 화학반응과 사람몸안에서 신진대사과정에서의 여러가지 단계들을 추적하는데 리용될수 있다. 돌턴의 리론이 화학의 기초를 형성했기때문에 그는 라부아지에와 마찬가지로 현대화학의 아버지로 인정되고있다. 돌턴의 원자론은 가장 좋은 원자모형을 개발할수 있게 하였고 물질의 서로 다른 상을 설명할수 있게 하였다. 또한 원자에네르기분야에 대한 연구와 화학반응의 정량적설명에 리용되였고 생화학을 포함하는 많은 부문에서 중요하게 응용되였다. 돌턴의 리론은 생화학의 발전과 련쇄반응을 형성하기 위한 탄소원소의 원자들의 결합, 사탕의 형성에서 기본인 사슬구조, 지방산, 핵산, 탄수화물, 단백질 그리고 생명이 기초하고있는 다른 분자구조들을 리해하기 위한 토대를 제공하였다.

# 보일의 법칙

로버트 보일은 과학 특히 물리학과 화학에 중요한 두가지 공헌을 하였다. 현대화학의 아버지로 자주 불리우는 로버트 보일은 기체의 압력과 체적사이에 반비례관계가 있다는것을 발견하였고 화학원소, 화합물 그리고 화학반응의 유력한 정의를 제기하였다. 또한 자기의 원자론을 리용하여 자기 실험결과들을 설명하였다.

로버트 후크, 프랑스의 철학자이며 물리학자이며 수학자인 르네 데까르뜨(1596－1650년), 프랑스의 원자론자인 삐에르 가쎈디(1592－1655년), 공기뽐프를 발명한 도이췰란드물리학자인 오토 폰 게리케, 프랑스의 물리학자인 에듬 마리오뜨(1620－1684년), 영국의 생리학자인 죤 메이어(1641－1679년), 영국의 의사인 리챠드 로워(1631－1681년) 등 과학자들이 기체에 대한 연구로 하여 력사에 이름을 남기였다.

# 련금술로부터 화학에로

17세기 련금술로부터 화학에로의 전환에 가장 크게 기여한 과학자는 로버트 보일이였다. 화학을 거짓과학 혹은 실용적인 기능으로 보아온 당시의 많은 학자들과 달리 보일은 화학을 가치있는 엄밀한 실험방법으로 취급하였다.

아일랜드에 있는 이튼시의 귀족가문에서 태여난 보일은 어릴 때 가정교사와 함께 유럽을 려행하면서 갈릴레이, 삐에르 가쎈디, 데까르뜨와 같은 학자들의 새로운 과학적견해들을 학습했다.

1640년대 중엽에 영국으로 돌아온 그는 더욱더 많은 시간을 과

학연구에 바치면서 물리학과 화학에 중요한 두가지 공헌을 하였다.
우선 그는 1662년의 왕립협회 창설성원이였다. 그는 왕립협회의 전신이였던 《보이지 않는 대학》이라고 불리운 과학신봉자들의 집단의 한 성원이기도 하였다. 윌리암 브른커, 로버트 머레이, 파울 닐, 죤 윌킨스 그리고 크리스터퍼 렌을 포함하는 저명한 과학자들로 구성된 이 집단은 제출된 과학론문들을 규칙적으로 공개하였고 실험결과들을 론의하였다. 협회는 또한 과학연구보고들을 꼼꼼히 기록하였으며 영국에서 첫 과학잡지를 출판하였다. 왕립협회는 과학에서 우수하고 혁신적인것을 추동하였으며 과학에서 성과를 거두는 아이저크 뉴톤과 같은 사람들을 받아들이였다.
또한 보일은 현대학문에서 널리 적용되고있는 화학에 대한 실험방법을 세워놓았다. 당시에는 화학적연구가 거의나 련금술에 기초하고있었다.
비금속으로부터 귀금속을! 이것은 련금술자들이 바란것이였다. 그러나 련금술은 점차 가치가 없는것으로 되고있었다. 바로 이러한 때 화학에서 실험적방법을 기본으로 되게 한 연구방법론을 세움으로써 보일은 그후 화학의 연구발전에 커다란 기여를 하였다.

# 꾸준한 실험으로 새로운 법칙을

1650년대 후반기에 영국의 옥스퍼드에서 보일은 도이췰란드의 마그데부르그에서 진행한 게리케의 대기의 거대한 압력에 대한 실험에 대해 알게 되였다. 하여 1657년에 로버트 보일은 공기뽐프를 개선할것을 로버트 후크와 약속하고 옥스퍼드대학에서 공기의 압력을 없애는 실험을 시작하였다. 후크와 보일은 솜씨있는 조수의 도움으로 도이췰란드에서 리용한것보다 공기를 뽑아내는데 더 쓸모있는 뽐프를 만들어냈다. 보일은 2년동안 이 공기뽐프를 리용하여 여러가지 실험을 진행하는 과정에 진공속에서는 깃털과 연덩이가 같은 속도로 떨어진다는것, 시계의 똑닥똑닥소리가 진공속

에서는 들리지 않는다는것 그리고 전자기적호상끌힘과 반발이 진공속에서도 줄어들지 않고 그대로 남아있다는것을 보여주었다.

또한 새들과 생쥐들은 진공속에서 오래 살수 없으며 공기를 뽑을 때 초불이 빠직빠직 소리를 낸다는것을 보여주었다. 보일은 1660년에 내놓은 첫 도서에서 많은 연구결과들을 발표하였다.

그 시기 론쟁의 초점으로 된것은 진공을 보일자신이 만들어냈다는 주장이였다. 그러나 이것은 물질로 완전히 가득차있는 우주에서 텅빈 공간이란 있을수 없다고 한 아리스토텔레스의 견해와 맞지 않는것이였다. 하여 그의 주장은 데까르뜨학파로부터 비난을 받게 되였다. 그러나 보일은 조금도 주저하지 않았다. 이러한 비난에 응답하여 보일은 가장 유명한 실험을 창안하고 그에 대한 설명을 1662년에 자기 책의 제2판에 공개하였다.

보일은 짧은쪽 끝이 봉인된 J자모양의 유리관을 리용하였다. 그는 열려진 긴 관으로 수은을 부어넣어 막힌쪽 안에 있는 공기를 막아놓았다. 실험을 통하여 그는 긴 관안의 수은의 질량을 2배로 했을 때 막힌쪽 안의 공기의 체적이 절반으로 줄어든다는것을 발견하였다. 즉 기체의 체적이 기체에 가해준 압력에 반비례하는것이였다. 결국 1662년에 보일은 기체의 압력과 체적에 관한 법칙을 발견하였던것이다.

기체의 압력과 체적사이의 이러한 반비례관계는 영어를 사용하는 나라들에서 보일의 법칙으로 불리우게 되였다.

보일과 독립적으로 몇년후인 1676년에 에듬 마리오뜨는 측정이 진행되는 동안 온도가 일정하게 유지되여야 한다는 중요한 조항을 넣어 같은 법칙의 이 반비례관계를 발견하였다. 따라서 이 법칙은 유럽대륙의 나라들에서는 마리오뜨의 법칙으로 불리웠다.

오늘은 이 법칙을 보일—마리오뜨의 법칙으로 부르고있다.

보일은 자기의 실험결과들을 력학적으로 설명하려고 시도하였으나 그의 미립자들은 가쎈디나 데까르뜨의 그것과 같지 않았다.

보일은 이 리론적존재물들을 리용하여 실험적현상들을 설명하는데 주의를 돌렸지만 보일이 말한 미립자들은 크기와 모양, 류동성을 가지고있었다. 실례로 공기를 압축하는 경우에 그는 공기립자들이

아주 작은 돌돌감은 용수철과 같아야 한다고 제기하였으나 공기립자들은 연소와 같은 화학적과정들을 포함하는데로부터 보일은 공기가 특수한 물질 즉 외부물질과 협동하는 휨성류동체라고 생각하였다.

## 단순한가 복잡한가?

보일은 자기의 리론적연구결과를 화학의 본질에 대하여 서로 다른 견해를 가지고 말하는 사람들과의 문답형식으로 발표하였다. 그러나 그것은 명백히 모든 물질이 4개의 원소들 즉 흙, 물, 공기 그리고 불로 이루어져있다고 한 고대 아리스토텔레스의 개념과 모든 화학적현상들이 3개의 요소들인 소금, 수은 그리고 류황으로 설명된다는 리네산스의 견해를 부정하는것이였다.

그는 이전의 주장들에 결코 얽매이려 하지 않았으며 무신론을 주장하였다. 보일은 화학적인 사상들은 관찰과 실험에 바탕을 두어야 한다고 강조했다. 그는 원소는 보다 단순한 물질들로 더는 쪼갤수 없는 근본적인 물질이라고 보았던것만큼 3가지 혹은 4가지 원소로 원소들을 제한할 리유가 없었다.

여러가지 성분들로 결합할수 있는 이 원소물질들은 모든 물리적인것들과 그 변화의 바탕에 놓여있다.

보일의 원소들의 《조작상정의》는 유력한것이였지만 그는 개별적인 물질들이 단순한가 복잡한가를 결정하는것은 실험적으로 힘들다는것을 발견하였다.

보일은 분석화학 및 리론화학에 기여하였을뿐만아니라 정성 및 정량분석학을 창설할수 있게 하였다. 실례로 그는 순수한 물질들을 리용하고있는가 하는것을 검증할수 있게 하는 동정법을 개발하였다. 금은 정확한 밀도를 가지며 염화수소와 질산의 혼합물에는 풀리지만 질산에만은 풀리지 않는다. 그는 또한 분석도구로 화염속에서 물질의 침전, 용해도, 색갈들을 리용했다.

그는 특히 산, 알카리 혹은 중성물질을 구별하는 방법으로서 색

지시기를 널리 리용하였다. 그는 특정한 식물재료가 산에 대해서는 붉은색으로, 알카리에서는 풀색으로 되며 중성용액에서는 변화되지 않는다는것을 발견하였다.

## 연소에도 관심을 두고

화학의 력사를 더듬어보면 화학적변화를 연구하는데 불이 널리 리용되였다. 보일은 공기가 없을 때 연소가 멎어버리며 또한 화약은 물밑에서도 탄다는것을 알고있었다. 그는 화약안에 있는 초석이 공기의 대용으로 작용한다고 생각하였다.

보일은 금속이 공기속에서 가열될 때 그것들은 본래 금속보다 더 무거운 가루와 같은 물질을 형성한다는것을 관찰하면서 이처럼 질량이 늘어나는것은 《불립자들》이 덧붙었기때문이라고 설명했다.

그러나 죤 메이어는 공기속에 함께 있는 물질과 초석이 연소를 일으킨다는것이 진실에 더 가깝다고 하였다. 지금은 이것이 산화라고 알려져있다.

연소에 대하여 많은 사람들이 실험을 진행하였으나 다른 실험자들과 달리 보일은 타는 초와 호흡하는 쥐가 둘다 공기의 체적을 줄인다는것을 관찰하고 연소와 호흡사이의 관계를 발견하였다.

그러나 메이어는 량쪽 페안에서 피는 공기로부터 《연소정》을 흡수하며 몸을 통하여 그것을 분포한다고 생각하였다.

리챠드 로워는 공기가 어두운 정맥피를 밝은 붉은 동맥피로 변화시킨다는것을 발견하였다.

보일은 오줌에도 흥미를 가지고 거기에서 린을 얻어냈다. 공기속에서 린이 나타내는 발광은 그의 호기심을 자아냈다. 하여 그는 물밑에서 린을 축적하는 실험에 착수했다.

그러나 보일은 린의 호흡과 연소에서 공기가 놀고있는 진짜역할을 찾는데서는 실패했다. 하지만 그가 강조한 정연한 실험의 중요성은 18세기에 과학자들이 마침내 산소의 발견을 가져오게 하였다.

보일의 화학은 의학과 야금학에 유용하기때문만이 아니라 그 자체의 요구로부터 연구할 가치가 있다는것을 현실로 보여주었다는것으로 하여 빅토리어녀왕은 보일에게 《현대화학의 아버지》라는 칭호를 주었다.

그러나 20세기의 일부 학자들은 현대화학의 창시자로서의 보일의 전통적인 역할에 의심을 품었다.

그들은 보일이 원소라고 말한것이 현대화학자들이 말하는 원소를 의미하지 않는다고 강조했다. 앙뚜안느 로랑 라부아지에는 특별한 형태의 원자들과 관련하여 화학원소들에 대한 현대적개념에 크게 기여한 과학자였다. 실례로 보일은 금속들을 원소라고 생각하지 않았으나 실제로 원소주기표는 순수한 원소들인 많은 금속들을 포함하고있다.

보일은 실제상 련금술을 버리지 못하였다. 그는 련금술의 중심학설인 변성 즉 비금속을 귀금속으로 변화시키는것을 믿고있었던것이다. 다시말하여 그는 연을 금으로 변화시킬수 있다고 확고히 믿고있었다. 이처럼 큰 오유를 안고있음에도 불구하고 보일은 오늘도 여전히 《화학의 아버지》로 불리우고있다.

현대화학자들의 반대에도 불구하고 보일의 방대한 저작들에서 볼수 있는 보다 많은 발견들과 리론들은 그와 동시대의 그 어떤 화학자들의 연구보다도 더 현대화학의 중요한 부분으로 되고있다.

그가 발명한 공기뽐프는 과학혁명의 가장 중요한 기계로 불리웠으며 보일의 실험적연구들은 과학을 연구하는 가장 훌륭한 방법의 원형으로 되였다.

보일은 물리학자들로부터 찬양을 받았지만 자신을 화학자로서 나타냈으며 새 기술의 개발과 조종실험들에서 현대의 실험에 가장 큰 영향을 주었다. 당시에 보일은 영국에서 뛰여난 기계학자였다.

보일은 자연기술에 대한 저작들을 통하여 명예를 얻었다.

신앙심이 깊은 그는 자신을 《자연의 옹호자》라고 생각하였으며 실제적으로 자금을 남겨놓아 보일강의기금을 창설하였다.

3세기동안 진행된 이 강의들은 과학자들에게만이 아니라 현대과학에 대하여 알기 위하여 노력하는 모든 사람들에게 보일이 얼마나 큰 역할을 놀았는가를 보여준다.

# 온도척도는 어디에?

날씨가 더운가 추운가 즉 대기의 온도가 높은가 낮은가 하는것을 결정하거나 두 물체들을 만져보고 그것들의 온도를 비교하는것은 쉬운 일이라고 볼수 있다. 그러나 온도를 정확히 측정하는것은 결코 간단한 일이 아니다. 때문에 정확한 온도측정은 최근에야 진행되였다.

스웨리예의 천문학자이며 물리학자인 안데르스 쎌씨우스(1701－1744년)는 대기압을 일정하게 조절해놓았을 때 눈이나 얼음의 녹음점과 물의 끓음점이 보편적인 상수라는것을 보여주는 엄밀한 실험을 진행하였다.

그는 이러한 결과들을 전세계에 퍼져있는 온도계들의 눈금새김을 하게 한 균일한 온도척도를 설정하는데 리용하였다. 도이췰란드물리학자인 다니엘 가브리엘 화렌하이트(1686－1736년)는 서로 일치하는 믿을만한 척도들을 가진 밀봉한 수은온도계들을 개발하였다. 그의 온도계들은 세개의 고정점들인 0°F, 32°F(얼음의 얼점), 96°F(사람의 몸온도)를 리용하였다.

후날 과학자들은 그 척도를 다시 눈금새김하여 물이 끓는 온도를 212°F로 교정하였다.

단마르크의 천문학자인 올 뢰메르(1644－1710년), 갈릴레오 갈릴레이, 프랑스과학자인 레오뮈르(1683－1757년), 스웨리예의 생물분류학자인 칼 폰 린네(1707－1778년), 프랑스과학자인 진 삐에르 크리스틴(1683－1755년), 영국의 화학자인 함프리 데이비(1778－1829년), 토마스 요한 씨베크(1770－1831년), 도이췰란드물리학자인 막스 플랑크, 영국물리학자인 윌리암 톰슨(1824－1907년)은 온도척도와 함께 물리학의 력사에 자욱을 새겨놓은 과학자들이다.

# 초기의 온도계

오늘 우리가 리용하고있는 온도계의 원리는 아주 간단하다. 그러나 믿기 어려울 정도로 간단한 이 장치의 능력은 대단한것이다.

온도에 관심을 돌리고 주관적으로 자연의 온도척도를 리용한 사람들은 문예부흥기의 의사들이였다. 그러나 이들이 자의대로 정한 온도척도들은 적당한 진단을 내리는데서는 유용할수 있었으나 과학연구와 측정기구로서는 적합하지 못하였다.

온도계를 발명하여 처음으로 이름을 낸 사람은 갈릴레이였다.

갈릴레이는 온도를 측정하기 위하여 처음으로 《온도계》를 발명하였다. 갈릴레이가 17세기초에 만들어 이딸리아의 도시인 빠도바에서 있은 공개강의들에서 리용한 온도계는 가열되거나 식을 때 서로 다른 물질들사이의 온도차나 같은 물질안에서 온도차를 관찰할수 있게 하는 상대적으로 거칠며 기체가 가득차있는 열린 유리그릇이였다. 그것은 류체나 고체가 온도가 변할 때 팽창하거나 수축되는 원리에 기초한것이였다. 그는 유리진공관안에 물을 넣고 온도가 변하는데 따라 진공관안에서 우아래로 움직이는 물겉면의 준위를 측정했다. 하지만 이것은 대기압의 영향을 막을수 없는것이였다. 그럼에도 불구하고 이 장치에 대한 소식은 급속히 퍼져 다음세기에는 많은 사람들에 의해 쓸모있는 온도계들이 만들어지게 되였다.

유명한 액체－유리온도계는 1654년경에 이딸리아중부 서해안의 또스까나주의 페르디난도 2세가 발명하였다. 대기압의 변화가 온도측정에 미치는 영향을 제거할수 있는 밀봉한 첫 온도계도 개발되였다. 1701년에 올 뢰메르라고 하는 단마르크의 천문학자는 포도주가 채워진 온도계를 만들었다. 그는 얼음과 소금의 혼합물의 온도가 0℃이고 끓는물의 온도는 60℃로 되는 척도를 리용하였다. 1702년에는 상당히 믿을수 있는 정점들을 가지는

첫 온도계의 하나를 개발하였다. 뢰메르의 척도는 두가지 물리적현상 즉 물의 끓음점과 눈이 형성되기 시작하는 온도에 기초하고있다. 그러나 뢰메르는 새로운 온도계를 눈금새김하기 위하여 눈이 내리기를 기다려야만 했다. 결국 이 기술은 오직 눈이 내리는 지역들에서만 사용할수 있는것이였다. 도이췰란드의 물리학자이며 발명가인 화렌하이트는 온도계의 설계를 의의있게 개선하였다. 그는 관안에서 팽창하는 류체의 높이의 변화를 현저하게 나타내도록 하기 위하여 알콜이나 수은을 실관에 채워넣었다. 그의 온도계는 보다 더 정밀한 측정을 할수 있게 하였다.

1708년에 화렌하이트는 단마르크에 있는 뢰메르를 찾아가 온도계들을 눈금새김하는 방법들을 관찰하였다. 그 과정에 그는 뢰메르의 온도척도는 일반적으로 쓰기에는 너무 불편하다고 생각하였지만 눈금새김에 얼음용액들을 리용하는것은 받아들이였다.

화렌하이트는 1709년에 첫 알콜온도계를 만들었다.

1713년에는 베를린을 방문하여 포츠담에서 수은－유리온도계안에서 수은의 열팽창을 연구하였으며 1714년에는 믿음성있는 첫 수은－유리온도계를 만들었다.

뢰메르와 마찬가지로 화렌하이트는 온도척도를 설정함에 있어서 얼음과 소금의 혼합물의 온도를 0°F로 설정하고 얼음과 순수한 물의 혼합물의 온도를 32°F로 설정하였으며 96°F는 건강한 사람이 겨드랑이밑이나 입안에 온도계를 넣었을 때의 온도로 설정하였다.

그러나 하루동안에 사람들의 체온은 약간씩 변하게 된다. 더우기 사람들이 앓을 때에는 체온이 더 크게 변한다. 또한 같은 온도계로 측정할 때에도 오차가 있다는것을 쉽게 알수 있었다. 더우기 서로 다른 두사람은 몸온도가 약간씩 다르다. 이리하여 사람몸의 온도는 사실상 정점으로 될수 없으며 사람몸의 온도를 정점으로 리용하여 눈금을 새긴 온도계들은 물체의 같은 온도를 정확히 기록할수 없다는것이 명백해졌다.

하지만 화렌하이트가 개발한 척도를 리용하여 눈금새김을 한 온도계들은 널리 리용되였다.

그러나 이름난 화학자 허먼 보아해브는 화렌하이트의 온도계

를 써보고는 알콜과 수은온도계들의 표시가 약간 차이난다는것을 알려주었다. 그런데 화렌하이트는 그 차이가 알콜과 수은의 팽창률에서의 차이라기보다 서로 다른 유리를 리용한데 있다고 틀리게 생각하였다. 하지만 화렌하이트는 온도계들이 같은 특성을 나타내도록 하기 위하여 노력하는 과정에 온도계들을 표준화하는 온도눈금으로서 세개의 특수한 점들을 골라냈다.

1724년에 영국왕립협회의 한 성원으로 된 화렌하이트는 협회의 잡지에 이 연구결과들을 발표하였다. 그의 온도계들은 네데를란드와 영국에서 특허권을 가지게 되였다.

1736년에 그가 죽은 후에 과학자들은 물이 끓는 온도로서 212°F를 설정하여 화렌하이트의 온도계를 다시 눈금새김하였다. 또한 사람의 표준몸온도를 화렌하이트가 리용한 96°F가 아니라 98.6°F로서 눈금을 다시 설정하였다. 물론 밀봉한 수은온도계에 대한 화렌하이트의 기본설계는 크게 달라지지 않았다.

18세기 후반기와 19세기에 만들어진 온도계들에는 흔히 둘 혹은 그이상의 척도들이 표시되였으며 그것들은 서로 다른 척도들이 리용되고있는 지역들에 판매되였다. 그러나 화렌하이트의 온도척도는 프랑스에서는 결코 일반화되지 못하였다.

스웨리예의 천문학자 쎌씨우스는 처음에 앞선 사람들이 개발한 온도척도와 온도계를 리용하였는데 그것들은 령점으로서 얼음물의 온도를, 물이 끓는 온도로서 80℃를 취한것과 물의 끓음점을 0℃로 한 거꾸로 된 온도척도였다.

스웨리예의 천문학자이며 물리학자인 안데르스 쎌씨우스는 1701년 11월 27일 스웨리예의 남동부, 스톡홀름의 북부에 있는 도시인 웁쌀라에서 태여났다.

어려서부터 온도측정을 포함하여 무게, 질량의 문제들에 흥미를 가진 그는 대학생시절에 벌써 종합대학 천문학교수인 에리크 부르만의 기상학적관찰을 도와주었다.

1730년에는 웁쌀라대학 천문학교수로 되여 1732～1736년의 4년동안에 유럽각지를 려행하면서 그는 북극광을 관측하였으며 이 현상에 대한 최초의 과학론문을 발표하였다.

빠리에서 모빼르뛰(1698－1759년)를 알게 된 그는 그와 함께 라플란드탐험대에 가담하여 북부스웨리예를 탐험하였으며 지구가 타원으로 되여있다는 아이저크 뉴톤의 주장을 증명하기 위하여 북극지방의 자오선측량에 참가하였다. 라플란드는 노르웨이, 스웨리예, 핀란드의 북부 및 로씨야의 꼴라반도를 포함한 지역을 이르는 말이다. 화렌하이트와 같은 기구제작자는 아니였지만 쩰씨우스는 온도계들을 리용하는 실험들을 진행하였다.

그 시기는 아직 온도계들에 대한 표준을 받아들이지 못하고있던 때였다. 사람들마다 서로 다르게 눈금새김한 온도계들을 리용하고 있었던것으로 하여 같은 온도계를 가지고 한곳에서 다른 곳으로 이동하지 않고서는 서로 다른 곳에서의 온도들을 비교할수 없었다.

이로부터 그는 온도정점을 정하는데 주의를 돌렸다. 물이 그속에 용해되여있는 오염물질을 포함하고있다면 그것의 얼점은 변하기 쉽기때문에 정점으로 쓸수 없다는것이 이 시기에 알려져있었다. 실례로 소금물은 보다 훨씬 낮은 온도에서 언다.

쩰씨우스는 보편적인 온도척도를 설정하는 문제에 착수할것을 결심하고 세밀한 관찰을 진행하면서 실험을 련속하기 시작하였다.

1741년에 쩰씨우스는 물의 특성에 기초한 척도를 제기하였다. 그는 순수한 물 즉 새로 떨어진 눈이 녹는 온도는 위도나 대기압에 의존하지 않는다고 생각하였다. 이리하여 쩰씨우스는 온도를 측정하기 위한 하나의 가능한 정점으로서 눈의 녹음점 혹은 순수한 얼음의 녹음점을 설정하였다.

물의 끓음점은 보다 복잡한 문제였다. 쩰씨우스는 그것이 위도에는 의존하지 않지만 고도에 따라 변하는 대기압에 따라 달라진다는것을 보여주었다. 이 문제를 풀기 위하여 쩰씨우스는 대기압에 따르는 순수한 물의 끓음점의 의존성을 측정했다.

대기압은 1643년에 갈릴레이의 제자의 한사람인 이딸리아의 물리학자 또리첼리가 발명한 기압계를 리용하여 정확히 측정할수 있었다.

1742년에 쩰씨우스는 과학적온도측정에서는 변하지 않으면서

자연적으로 생기는 두개의 점을 고정척도로 써야 한다는 결론을 내리였다. 그는 스웨리예 왕립과학원 정기간행물에 《온도계에서 두 온도정점의 관측》이라는 제목으로 실험결과들을 담은 론문을 발표하였다. 론문에서 쎌씨우스는 온도계를 눈금새김하기 위하여 세 단계를 제기하였다.

첫째로 두 점사이를 100개의 같은 단위의 간격들로 나누었다. 이 척도에서는 물이 끓는 온도는 0℃이고 어는 온도는 100℃였다. 이때 1℃의 쎌씨우스온도는 1°F의 화렌하이트온도의 거의 2배나 되였다. 다행히도 그는 스웨리예, 로씨야 그리고 북대서양의 대단히 추운 지역들에서 일하였으므로 이러한 거꾸로 선 척도를 리용함으로 하여 부의 온도를 취급하는것을 피할수 있었다.

카를로스 리나우스는 일반적으로 0℃에 물의 얼점을, 100℃에 물의 끓음점을 설정하여 온도척도의 방향을 뒤집어야 한다고 생각하였다. 하여 1774년 쎌씨우스가 죽은 후에 물의 끓음점과 얼점온도는 뒤집혀졌다. 즉 물의 끓음점은 100℃로, 얼점은 0℃로 설정한 바로선 척도로 변화되였다. 바로선 온도척도의 개발과 관련한 변화는 1743년 혹은 1744년에 진 삐예르 크리스틴에 의해 제기되였던것 같다. 변경된 쎌씨우스의 온도척도는 두개의 정점들사이를 100등분하였으므로 1948년까지 100분도척도로 알려졌는데 그후 쎌씨우스온도로 알려지게 되였다.

과학적견지에서 볼 때 현대의 온도척도에 대한 쎌씨우스의 가장 중요한 기여는 두개의 보편적인 정점들을 설정하기 위한 주의깊은 실험결과들이였다. 이 보편적인 온도정점들은 온도계들이 서로 다른 실험실들에서 조립되여도 같은 온도척도로 눈금새김을 할수 있게 하였다. 쎌씨우스가 이 보편적인 온도척도를 발견한 후 세계의 과학자들은 온도를 대단히 정확히 측정할수 있게 되였고 자기들의 측정결과들을 믿을수 있게 되였다. 또한 서로 다른 사람들의 실험들을 더 믿을수 있게 되였다.

그후 과학자들은 물질의 여러가지 물리적특성들이 온도에 따라 어떻게 변하는가를 정확히 결정할수 있었다. 보편적인 온도척도의 개발은 여러 장소에서의 날씨기록들을 비교할수 있게 하였으며 날씨

예보의 발전을 가져왔다.

셀씨우스는 100분도온도계를 개발한것외에 스웨리예지도를 만들었으며 지구의 형태와 크기의 정확한 측정에 관한 론문도 쓰고 발뜨해에 흘러드는 수위에 대한 연구도 하였다. 양별자리안의 별의 밝기를 측정하기 위한 시도도 하였으며 북극광과 지구의 자기마당사이에 관계가 있다는것을 립증하였다. 하여 셀씨우스의 이름은 유명한 온도척도외에 달겉면의 분화구에도 붙어있다.

온도척도는 정확히 물질속에서 분자들의 평균운동에네르기의 척도이다. 이러한 리유로 하여 19세기에 톰슨은 령점이 가장 낮은 가능한 온도로 되는 척도를 제기하였다. 절대령도로 알려진 령점에서는 물질속의 분자들이 전혀 움직일수 없을것이다. 그러므로 리상기체는 령점에서 체적이 없거나 압력을 가지지 못할것이다. 1K(켈빈)의 간격은 셀씨우스의 1℃ 간격과 같다. 물은 273.15K에서 얼며 373.15K에서 끓는다. 엑스트름은 셀씨우스와 린네 등에 의해 리용된 온도계의 제조자였으며 린네 역시 셀씨우스척도를 거꾸로 만든 사람이였다. 린네는 자기의 연구에 셀씨우스척도를 곧 채용하였다. 레오뮈르의 척도가 약 한세기동안 프랑스에서 리용되였지만 셀씨우스의 척도는 프랑스에서 대중화되였다.

셀씨우스의 척도는 잘 알려져 m단위가 도입되였을 때 섭씨눈금척도로 불리우며 널리 리용되게 되였다.

1848년에 켈빈경으로 불리운 윌리암 톰슨은 물질이 그이상 랭각될수 없는 온도를 령점으로 취한 온도눈금을 제기하였다.

이 점은 −273.15℃와 같고 −459.67°F와 같다. 켈빈척도는 과학자들이 리용하고있는데 국제표준온도단위이다. 1℃의 온도차는 1K(켈빈)과 같다. 그러므로 수증기, 얼음, 액체가 평형상태에서 존재할수 있는 온도인 물의 3중점이라고 불리우는 온도는 273.16K이다.

영어로 말하는 나라들에서 화렌하이트척도는 20세기 후반기까지 많이 리용되였는데 m계에로 넘어가면서 대부분 나라들이 셀씨우스척도를 받아들였다. 21세기에 들어와서도 화렌하이트척도는 미국에서 계속 리용되고있다.

# 국제표준온도척도

온도계들이 처음으로 리용된것은 기상과 농업이였다. 우리 생활과 가장 가깝게는 방안온도를 재는데 리용되였다. 그래서 처음에 과학자들은 이러한 분야들에서 흥미를 끄는 온도범위안에서 얻어지는 고정점들을 설정하는데 기본을 두고 연구를 진행하였다.

그러나 온도측정의 초시기에 사람들은 자기들이 정하려고 하는 정점들이 실제상 고정되여있는지 어쩐지 알지 못하였다.

연구과정에 과학자들은 세계의 모든 곳에서 엄밀히 같은 온도에서 일어나는 물리적현상들을 찾아내야 한다는것을 인식하게 되였다. 이러한 현상들만이 온도계들을 눈금새김하기 위한 정점들로 리용될수 있었던것이다. 국제과학자회의는 전세계에서 리용되도록 하기 위하여 표준온도값들의 척도를 설정하였다.

온도의 국제척도는 측정단위들이 엄밀히 일치할것을 요구하며 같은 조건하에서 같은 읽기를 주는 기구들을 생산할수 있는 가능성을 요구한다. 또한 《기준온도들》 즉 자연에서 관찰할수 있는 기준점들이 있어야 하며 방법들과 기구들이 있어야 한다.

온도에 따라 변하는 물질의 어떤 특성을 온도계를 개발하는데 리용할수 있다는 사실에 기초하여 보다 높은 정확도와 국제표준들의 령역에 도달할수 있게 3개의 새로운 기구들이 만들어졌다.

첫째로 1821년에 데이비가 금속의 전기저항이 온도에 따라 변한다는것을 발견한데 기초하여 19세기말에 이르러 과학자들은 중요한 국제적인 역할을 놀수 있는 믿을만한 백금저항온도계를 개발할수 있었다.

둘째로 1822년에 도이췰란드물리학자 씨베크는 서로 다른 금속들의 두 끝들이 이어지고 그 이음점들이 서로 다른 온도에 있으면 전류가 흐른다는것을 발견하였다. 열전쌍이라고 불리우는 이 원리에 기초한 온도계들은 매우 높은 온도를 측정하는데서 특별히 가치가 있다.

셋째로 20세기초에 도이췰란드물리학자 플랑크는 물체의 보다 높은 온도는 그것들이 방출하는 복사에 의해 측정할수 있다는것을 발견하였다. 이 목적을 위해 광학고온계가 곧 만들어졌다. 그러나 이러한 3가지 기구들은 눈금이 새겨져있어야 했다. 1927년에 국제도량형위원회에 속하는 모든 나라들은 국제온도척도를 받아들였고 기술이 발전하는데 따라 그 척도는 1948년, 1960년, 1968년에 수정되였다. 1948년에는 11개의 고정된 초기의 기준점들과 함께 K을 리용하였다.

가장 기본적인 기준점은 273.16K로 물의 3중점을 정하였는데 그것은 절대온도가 0K 혹은 −273.15℃라는 믿음에 기초하고있다.

3중점은 기체, 액체, 고체상태의 화학원소들이 동시에 존재하는 온도에 기초하고있다. 개별적인 기구들의 기준점들에 눈금새김할것이 요구되였다.

백금저항온도계는 13.81K으로부터 903.89K에 대하여 리용된다.

표. 국제실용온도척도(주요기준점들)

| 켈빈(K) | 쎌씨우스(℃) | 기준점 |
|---|---|---|
| 13.81 | −259.34 | 수소의 3중점 |
| 17.042 | −256.108 | 액체와 기체상태의 수소는 주어진 온도에서 평형을 이룬다. |
| 20.28 | −252.87 | 수소의 끓음 |
| 27.102 | −246.048 | 네온의 끓음 |
| 54.361 | −218.789 | 산소의 3중점 |
| 90.188 | −182.962 | 산소의 끓음 |
| 273.16 | 0.01 | 물의 3중점 |
| 373.15 | 100 | 물의 끓음 |
| 692.73 | 419.58 | 아연의 얼점 |
| 1 235.08 | 961.93 | 은의 얼점 |
| 1 337.58 | 1 064.43 | 금의 얼점 |

두번째 기준점은 안티몬의 녹음점에 기초했다. 903.8K으로부터 1 337.58K까지는 백금과 그 합금을 리용하는 열전쌍이 리용된다. 1 337.58K이상의 높은 온도에서는 광학고온계가 리용된다.

엄밀한 측정은 과학에 기초하고있으며 과학과 기술의 진보는 엄밀성에 의존한다.

온도는 질량, 길이, 시간과 같은 자연의 근본적인 특성이다. 때문에 온도의 측정은 믿을만 해야 하며 리용을 위하여 쉽게 재현될수 있어야 한다. 그러나 K의 크기는 척도의 모든 부분들에서 정확히 같지 않다.

수은이나 알콜온도계들은 매질들의 끓음점이나 얼점때문에 리용에서 제한된다.

20세기말까지 높은 정밀도의 온도측정들은 열복사를 검출하고 측정하는 적외선복사계들을 리용하여 건물이나 짐승들의 겉면온도 그리고 지역의 특징들을 검출하는데 넓은 온도범위에서 진행되였다.

감도가 높은 일부 복사계들에 의한 측정은 보통 콤퓨터나 분석을 위한 자료기구장치에 관찰되는 물체들의 온도를 색으로 보여주는 영상들이 나타나도록 설계되였다.

온도를 보다 더 정확히 결정하기 위한 시도들은 앞으로도 계속될것이며 수정들이 가해질것이다.

# 콤프톤효과

고체에서 X선산란에 대한 미국의 물리학자인 아써 할리 콤프톤(1892－1962년)의 실험은 빛량자가 실재한다는것을 과학자들에게 납득시켰으며 전자기복사는 파동성과 립자성을 다같이 나타낸다는것을 보여주었다.

도이췰란드출신의 미국물리학자인 알베르트 아인슈타인(1879－1955년), 도이췰란드 리론물리학자인 막스 플랑크(1858－1947년)들이 이 연구를 위하여 심혈을 기울였다.

## 빛의 본성은?

수세기동안 사람들은 태양이나 전등과 같은 원천으로부터의 빛의 복사에 대하여 신기하게 생각하고있었다. 19세기에 과학자들은 어떤 측면에서는 빛이 물면파나 소리파와 같이 파동의 한 형태라고 확신하게 되였다. 보임빛의 색갈들이 서로 다른것은 파장이 다르기때문이라는것을 인식하게 되였다. 사람의 눈으로 볼수 있는 빛가운데서 붉은색빛은 가장 긴 파장이며 보라색빛은 가장 짧은 파장이다. 붉은색, 감색, 누런색, 풀색, 푸른색, 보라색의 무지개색갈들은 련속적인 자연빛스펙트르 혹은 전자기적속성을 가진 대역을 이룬다.

연구가 심화되는 과정에 일부 빛은 사람의 눈으로 볼수 없다는것이 발견되였다. 이러한 빛인 적외선과 자외선복사는 보임빛대역 바로 옆에 놓이는것이였다. 그후의 실험들은 또다른 형태의 복사도 있다는것을 보여주었다. 즉 적외선을 지나 라지오파, 자외선

다음에는 X선과 $\gamma$선들이 나타난다. 그러나 19세기말에 빛이 단순히 파동과 같은 섭동이라는 생각으로는 설명할수 없는 여러가지 실험결과들이 얻어졌다. 이러한 결과들을 설명하기 위하여 막스 플랑크는 1899년에 빛은 《quanta》이라고 불리우는 작은 에네르기덩어리로 이루어져있다는것을 제기하였다. 《quanta》는 《how much》라는 뜻을 가진 라틴어단어 《quantum》의 복수형이다. 매개 량자는 자체의 개개의 에네르기를 가지고있다. 보다 긴 파장은 보다 작은 에네르기를 가진다. 《포톤》은 빛량자에 대한 다른 이름이다.

1905년에 상대성리론의 발견으로 유명해진 아인슈타인은 빛전기효과는 만일 빛을 량자들로 이루어져있다고 본다면 쉽게 설명될수 있다는것을 보여주었다. 매개 량자는 금속겉면으로부터 전자를 떼여내며 전자가 전류로서 자유롭게 움직이게 한다는것이다. 과학자들에게는 빛의 본성에 대한 이 두가지 서로 다른 견해를 조화시키는것이 대단히 어려운 문제였다.

그러면 빛이 어떻게 파동성과 립자성을 둘다 가질수 있는가?

## 량자가 실지로 존재하는가?

1920년까지 많은 리론물리학자들은 량자들이 관찰된 몇가지 현상들을 설명하는데는 쓸모있지만 량자들의 에네르기준위들은 너무 낮아서 그 시기에 개별적량자들을 관찰하기 불가능하다는것을 발견하였다. 량자들이 실지로 존재하는가 혹은 순수 개념에 지나지 않는가? 바로 이것을 워싱톤대학 물리학교수인 아써 할리 콤프톤이 밝혀내려고 하였다.

그는 파라핀블로크에 X선묶음을 쪼이는 실험을 진행하였다. 일부 X선들이 여러 각도로 산란되였다.

콤프톤이 놀란것은 산란X선들이 입사X선보다 더 긴 파장을 가진다는것이였다. 이것은 흰 종이우에 푸른색빛을 쪼였을 때 반

사되는 빛은 풀색빛으로 되는것과 비슷하다. 더우기 콤프톤은 전자들이 파라핀으로부터 분리되여 자유로운 립자로 된다는것을 발견하였다.

산란된 X선과 자유로운 전자들사이의 각도를 측정함으로써 그는 X선량자 혹은 포톤의 파장이 마치도 전자와 충돌하는것처럼 정확히 련관된다는것을 발견했으며 충돌하는 공기돌 혹은 당구공처럼 반사한다는것을 발견하였다. 좀더 기술적용어로 말하면 그 각들은 X선들을 립자와 같은 량자들의 흐름으로 본다면 운동량이 보존된다는것을 보여주었다. 즉 충돌전 모든 립자들의 전체 운동량이 충돌후 전체 운동량과 같다는것이다.

그러나 개별적운동량들의 값은 아주 다를수 있다. 더우기 X선에서 잃어버린 에네르기는 전자의 운동에네르기와 일치했다.

이 결과들은 물리의 세계에서 오래전에 확립된 에네르기 및 운동량보존법칙과 일치하였다. 콤프톤의 결과들은 1922년 9월에 발표되여 1923년 봄에 출판되였다. 이러한 결과들의 믿음성과 그에 대한 콤프톤의 해석에 대하여 처음에는 일부 론의가 있었지만 곧 과학자들은 콤프톤의 연구가 량자들이 실지로 존재하며 립자와 같이 거동한다는것을 명백하게 보여주었다는것을 확신하게 되였다.

콤프톤의 연구결과들은 유럽에로 전파되였다. 이 시기 유럽에서도 물리학자들은 수십년동안 빛과 다른 형태의 복사와 관련한 문제들을 깊이 연구하고있었다.

콤프톤의 결과들이 발표되던 때와 거의 같은 시기에 스위스 쮸리히에 있는 련방기술쎈터의 물리학교수인 물리학자 페테르 데바이는 독립적으로 복사의 량자적본성에 대하여 같은 결론들을 얻어냈다.

다른 물리학자들도 실험을 통하여 콤프톤의 결과들을 확증하였다.

그때로부터 물리학자들은 복사를 취급하는데서 복사가 파동성과 립자성을 둘다 가진다는것을 인정해야 한다는것을 알게 되였다. 결국 콤프톤은 국제적인 인정을 받게 되였다.

# 파동인가 립자인가?

1914년에 시작한 콤프톤의 박사론문의 내용은 결정에서 원자들의 주위에 전자들이 어떻게 분포되여있는가 하는것을 결정하는것이였다. 그러기 위하여 그는 X선을 리용하여 어떤 결정으로부터 반사되는 반사X선들을 연구하였다.

6년동안 콤프톤은 X선들과 γ선들이 알루미니움, 탄소 그리고 다른 원자들에 의해 어떻게 산란되는가 하는데 대한 복잡한 실험적 및 리론적연구를 진행하였다.

콤프톤은 자기와 다른 사람들이 실험적으로 밝힌 결과들을 설명하기 위하여서는 X선과 γ선들이 파동처럼 거동하는것이 아니라 립자처럼 거동한다고 보아야 한다는것을 점차적으로 리해하기 시작하였다.

실례로 X선이 탄소원자안의 전자를 때릴 때 하나의 작은 당구공이 다른 공을 때려 마치도 에네르기와 운동량의 일부를 변환시켜 그 방향으로 그것을 보내는것과 같이 볼수 있다.

입사X선은 에네르기와 운동량의 일부를 잃게 되며 X선의 에네르기는 그것의 주파수에 비례하므로 산란X선은 입사X선보다 낮은 주파수 혹은 보다 긴 파장을 가진다. 스펙트르분광기를 리용하여 콤프톤은 입사X선의 파장과 산란X선의 파장을 비교할수 있었다.

그는 X선들의 파장은 그가 당구공모형에 기초하여 계산한 량과 꼭같이 길어진다는것을 알게 되였다. 이 실험에서 X선들은 실지로 에네르기와 운동량을 가진 립자와 꼭같이 거동하였다.

아인슈타인은 일찌기 1905년에 어떤 환경속에서는 높은 주파수의 전자기복사는 립자 혹은 에네르기량자와 같이 거동한다는것을 확신한다고 주장하였으나 아인슈타인의 《빛량자(파동－립자)가설》은 그후 오래동안 깊은 의심을 자아내고있었다.

그러므로 콤프톤이 1923년에 자기의 발견에 대하여 발표했을 때 대다수의 물리학자들은 큰 충격을 받았다.

콤프톤의 실험적 및 리론적연구가 아인슈타인의 가설을 검증하는데서 결정적인것이 아니였지만 콤프톤의 결과들은 아인슈타인의 가설에 대한 첫 결정적인 실험적증명으로 인정되였다.

물리학자들은 복사가 물질과 호상작용하는 방식을 새롭게 고찰하기 시작하였다.

콤프톤의 발견은 1925−1926년에 현대량자력학의 창시에 결정적인 자극을 주었다.

후날 콤프톤효과로 알려진 이 발견으로 하여 1927년에 콤프톤에게 노벨물리학상이 수여되였다.

# 전도성

언제나 주의깊은 관찰을 진행한 영국사람인 스테픈 그레이(1666−1736년)는 우연히 전기가 한 물체로부터 다른 물체로 흐른다는것, 그리고 일부 물질들은 전도체이며 일부 물질들은 절연체라는것을 발견하였다. 그의 꼼꼼하고 상상력이 풍부한 실험들은 한갖 흥미거리로 되고있던 정전기적연구를 과학에로 끌어올렸다.

영국의 물리학자인 존 플램스티드(1646−1719년), 첫 전기기계를 발명했다고 보는 물리학자 프랜시스 하욱스비(1660−1713년), 진−시오필 디재글리어스(1683−1744년) 등 많은 사람들이 전도성에 대한 연구로 이름을 남겼다.

## 전기는 전도된다

호박의 효과 즉 그것을 비비였을 때 솜털쪼박들을 끌어당기는 호박의 능력은 고대로부터 알려져있었다. 1596년에 길버트는 유리, 류황, 송진 그리고 밀랍 등도 역시 전기를 띨수 있다는것을 보여주었다.

1706년에 물리학자 하욱스비는 프린트유리판을 리용하여 런던왕립협회에 몇가지 정전기적효과들을 보여주었다. 이 소식을 들은 그레이는 자신이 실험을 진행하고 1708년에 그에 대한 설명을 협회에 보냈다. 그후 그는 협회의 몇몇 성원들과 친구가 되였다. 그레이는 천염색업자의 아들이였는데 아버지의 직업을 이어받았으나 과학연구에 더 많은 시간을 바치였다.

그레이는 망원렌즈를 내놓았고 식과 태양흑점을 측정했으며 목성의 위성들의 회전도 측정하였다.

그는 황동판안에 형성한 작은 구멍안에 넣은 물방울을 렌즈로 리용하는 현미경을 만들었다. 그것은 물안에서 움직이는 미생물들을 관찰하는데 충분하였다. 그는 주의깊고 재능있는 관찰자로 널리 알려지게 되였다.

그는 왕립협회의 성원은 아니였으나 협회는 1696년에 그레이의 현미경적관찰들을 소개하였다. 그후에도 그레이는 큰 전진이 없었지만 꾸준히 정전기학에 대한 연구를 계속하여 63살 되던 해인 1729년에는 마침내 하욱스비가 리용한것과 류사한 굴절률이 큰 프린트유리로 만든 관을 얻게 되였다. 프린트유리관은 약 91.5㎝ 길이에 2.54㎝직경을 가진것이였는데 천이나 마른 손으로 비빌때 정전기를 띠게 된다. 관이 호박효과와 류사하게 깃털쪼박, 명주실 등을 끌어당기기때문에 《정전기효과》를 띤다고 말할수 있었다. 때로는 탁탁튀는 소리가 나고 밤에 보면 빛 혹은 불꽃이 일어났다.

그는 그것을 리용하지 않을 때에는 관안에 먼지가 들어가지 않도록 하기 위하여 그끝들에 코르크마개를 틀어막았다.

정전기에 관심을 가지게 된 그는 금속우에 떨어지는 빛이 금속에 전기적효과를 일으키겠는가에 대하여 생각하기 시작하였다. 이미전에 금속들을 마찰시켜 그것들이 전기를 띠게 하려고 시도했으나 실패한적이 있는 그는 사소한 현상도 놓치지 않기 위해 노력하였다.

이 실험을 준비하면서 관을 비비던 그레이는 작은 깃털이 관과 코르크마개들쪽으로 끌리운다는데 주목하였다. 이 간단한 관찰이 결정적인 돌파구로 되였다.

즉 명백히 《전기적효과》는 한 물체에서 다른 물체에로 전환 혹은 전도되는것이였다! 흥분한 그레이는 손에 잡히는 모든 물체들에 대하여 다 시험해보았다. 코르크마개안에 끼워넣은 막대기와 짧은 막대기에 붙인 구멍이 있는 상아공, 쇠줄이나 약 91.5㎝ 길이의 삼실에 매단 공, 은돈, 불삽, 철갈구리, 금

속도구들, 동주전자, 타일, 백묵 등을 관에 련결시켰을 때도 전기를 띠는것이였다.

후에는 나무와 삼실과 같은 물질들은 습도가 충분히 높을 때에만 전도된다는것을 발견하였다.

다음에 그레이는 전기적효과가 얼마나 멀리까지 전달될수 있는가 하는 문제에 흥미를 가지게 되였다.

그는 약 5.5m의 나무막대기들을 조립하여 엮은 다음 한끝을 관에 련결하고 다른 끝을 전기를 띤 상아로 만든 공에 련결하고는 자기 방에서 실험하였다. 더 큰 공간이 필요하게 되자 그는 커다란 집과 땅을 가지고있는 동무들을 찾아가 몇달에 걸쳐 실험을 진행하였다.

마침내는 약 270m의 삼실로 전기적효과를 보내는데 성공했는데 그 과정에 그는 두가지이상의 중요한 발견들을 하게 되였다. 그러나 그레이의 실험은 처음부터 성공한것이 아니였다.

수평으로 놓인 삼실을 준비하고 그것을 천정대들보에 있는 못에 걸어놓은 삼실에 매달았는데 바라는 결과가 얻어지지 않았다. 이때 그레이는 전기적효과가 정확히 삼실을 따라올라가서 천정대들보에서 사라진다고 추측했다.

생각끝에 그레이가 웰러를 찾아가 수평으로 실을 매다는 문제에 대하여 설명하자 그는 삼실을 명주실에 매달것을 제기했다. 이 방법으로 실험은 성공하였다. 그레이는 이 실험결과를 설명하면서 명주실이 삼실보다 훨씬 작은 직경을 가지고있어 전기적효과의 흐름을 막기때문이라는 리론을 세웠다.

후에 수평선들을 유지한 명주실이 보다 긴 삼실의 무게때문에 끊어지자 그들은 명주실보다 두께가 크지 않은 황동선을 실험에 리용하였는데 역시 전기적흐름은 없었다.

이러한 실험들에 기초하여 그레이는 중요한것은 지지선들의 직경이 아니라 일부 물질들은 전기적효과의 흐름을 허용하지만 다른것들은 그 흐름을 차단한다는 사실이라고 판단하였다.

이렇게 1920년대와 1930년대에 정전기 혹은 전기적효과에 대한 실험을 진행함으로써 그레이는 모든 종류의 물질들이 전기를 띠

게 하는데 성공하였다.

그는 이번에는 대담하게도 그렇다면 사람도 전기를 띠게 되겠는지 하는 호기심을 가지게 되였다.

결국 그는 오늘도 그의 이름과 관련되여있는 희극적이고 재미있는 날아다니는 소년에 대한 실험을 하게 되였다. 그레이는 이러한 실험들과 발견들에 대하여 구체적으로 적어 1732년에 출판하였다.

# 현대적인 이름—도체와 부도체

정전기에 대한 개념은 일반적으로 일상적인 경험을 통하여 대다수의 사람들에게 알려져있다.

즉 모직천이나 유리봉과 같은 서로 다른 물질들을 서로 접촉하여 비빈 후에 갈라놓는다면 일부 전자들이 유리로부터 모직천으로 옮겨가면서 유리는 양으로 대전되며 모직천은 음으로 대전되는 것이다.

작은 깃털을 양으로 대전된 유리에 가까이 가져가면 양으로 대전된 유리는 깃털의 원자들에 작용하여 유리봉에 가장 가까운 깃털속의 원자들에 대하여 매개 원자에서 일부 전자들을 끌어당길것이다.

그리고 평균적으로 양전하보다 좀 가까이 놓여있는 깃털안에 있는 음전하는 깃털을 유리봉쪽으로 끌리게 할것이다. 이때 깃털이 유리봉에 닿으면 깃털로부터 일부 전자들이 봉으로 넘어갈수 있으며 깃털은 양전기로 대전된다.

봉은 보다 적은 양전하를 가질것이다. 결국 봉과 깃털은 둘다 양으로 대전되며 깃털은 바로 봉으로부터 배척될것이다.

다른 사람들과 함께 그레이는 끌힘과 밀힘의 효과를 관찰하였다.

사실 그레이의 유명한 연시중의 하나는 깃털을 배척하는것이

였으며 관을 수평으로 유지하여 공기속에 떠있게 하고 깃털을 그 아래에 유지하는것이였다.

그레이는 사망하기 전까기 이러한 실험을 계속하고 그 결과를 발표하였다. 그러나 그레이는 자기가 발견한 물질들에 이름을 달아야 한다는 생각은 하지 못하였다.

디재글리어스는 그레이가 발견한 두개 종류의 물질에 《도체》와 《부도체》라는 현대적인 이름을 붙이였다.

즉 전기를 흘릴수 있는 물질을 도체, 그것을 차단하는 물질을 부도체라고 하였다.

프랑스의 과학자 듀 파이는 1732년에 웰러와 그레이를 방문하여 두 류동체전기리론을 발전시킨 그들의 연구에서 고무를 얻게 되였는데 이 리론은 벤져민 프랭클린의 단일류동체리론으로 바뀌여지기 전까지 널리 받아들이게 된 리론이였다.

그레이가 수백m로 늘인 선으로 전기신호를 처음으로 보낸것으로 하여 그를 전보, 전화 그리고 장거리통신의 조상으로 보고 있다.

아마도 가장 중요한것은 윌리암 길버트가 자기에 대한 연구를 과학으로 되게 한것과 마찬가지로 그레이는 그 어느 선배들보다 전기학에 대한 연구를 과학으로 되게 하였다는것이다.

# 우주의 중심은 어디인가?

우주는 도대체 어떻게 생겼는가. 우리가 살고있는 지구는 과연 우주의 어디에 있는가. 아득한 옛날에 많은 사람들이 이 문제를 놓고 한생을 바쳐가며 자기의 견해를 이 세상에 남기였다.

그러한 사람들가운데는 뽈스까의 천문학자인 미꼴라이 꼬뻬르니끄(1473－1543년)도 있다. 꼬뻬르니끄의 책인 《천체의 회전에 대하여》는 고대그리스의 지구중심태양계의 모형을 태양계중심에는 태양이 놓여있다는 현대의 태양중심모형으로 바꾸어놓았다.

꼬뻬르니끄의 리론을 받아들인 이딸리아의 수학자, 물리학자인 갈릴레오 갈릴레이와 지구중심행성계를 수정한 단마르크의 천문학자인 튀코 브라헤(1546－1601년), 행성운동의 새로운 법칙을 정식화한 도이췰란드의 천문학자인 요한네스 케플레르, 아이저크 뉴톤이 이에 대한 연구를 진행하였다.

## 꼬뻬르니끄의 공헌

고대로부터 사람들은 하늘에 떠있는 물체들의 운동에 매혹되였다. 그들은 이러한 물체들의 대다수 특히 별들은 마치도 지구를 둘러싼 단단한 구에 고정되여 매일 한번씩 회전하듯이 북반구에 고정된 극별인 북극성둘레로 원을 그리며 회전하는것으로 보인다고 생각하고있었다. 2천년전에 벌써 사람들은 몇개의 이상스러운 물체들이 하늘에 떠다닌다는것을 알고있었으며 그것들이 별에 관하여 움직이기때문에 《방랑자》들이라는 이름을 붙이였다.

이들속에는 태양과 달외에 망원경없이도 볼수 있는 5개의 행

성들 즉 수성, 금성, 화성, 목성, 토성들이 포함되여있었다. 사람들은 이 《방랑자》들의 자리길들을 관찰하고 기록하였다.

점성학자들은 이들의 위치가 매일 지구우에서 사람들의 생활에 영향을 준다고 믿고있었다. 그러나 천문학자들은 이것들의 운동을 무엇이 일으키며 이 운동을 어떻게 예언할수 있는가를 알아내려고 노력했다.

고대그리스의 행성들의 체계는 150년경에 프톨레마이오스에 의해 완성되였다. 고대그리스의 철학자들은 지나간 모든 측정들과 일치하며 《방랑자》들의 앞으로의 위치들을 예언할수 있는 그것들의 운동모형을 얻어내려고 시도하였다. 그들중 가장 성공한 사람은 그리스의 철학자인 프톨레마이오스(100－178년경)였다.

그는 하늘의 모든 물체들은 보다 큰 동심원들을 그리며 지구주위로 돌고있다는 모형을 제기하였다. 그러나 이 모형은 《방랑자》들의 운동을 정확히 예언하지 못하였다. 그래서 프톨레마이오스는 보다 큰 동심원둘레를 도는 다른 원들에 행성들을 고정시켰다. 이것을 프톨레마이오스의 모형이라고 부르게 되였다.

이 프톨레마이오스모형은 지구중심모형인데 다른 원둘레로 돌아가는 원인 주전원들이라고 부르는 원들의 복잡한 결합에 의해 행성들의 위치를 정확히 계산할수 있었다.

그런데 이 모형을 사람은 신의 《특수한 창조물》이며 따라서 응당 모든 창조물들의 중심으로서의 《특수한 위치》를 차지해야 한다고 보는 로마의 카톨릭교지도자들이 받아들이게 되였다. 즉 그것은 아랍의 과학자들에 의해 발전되였으며 이딸리아의 카톨릭교교회의 신학자로서 13세기 스콜라철학자인 토마스 아퀴나스(1225?－1274년)에 의해 카톨릭교 신학으로 정립되였다. 하여 프톨레마이오스의 모형은 중세기에 유럽에서의 종교적사고를 지배하게 되였다.

태양계에서 지구가 특수한 자리를 차지한다는 프톨레마이오스의 이러한 사상은 천문학자이며 로마 카톨릭교교회 회원인 미꼴라이 꼬뻬르니끄에 의해 도전에 부딪쳤다. 프로씨아의 도토른(지금

의 뽈스까의 토른)에서 태여난 꼬뻬르니끄는 이딸리아에서 진보적교육을 받았다. 그는 천문학, 수학, 의학을 공부하고 박사로 되였다. 목사로 오래동안 일한 꼬뻬르니끄는 응당 그리스도교의 신봉자로 되여야 하였지만 천문학에 대한 연구는 그를 교회와 대립되는 길로 이끌어갔다. 그의 동무들은 철저한 신교파들이였다.

결국 꼬뻬르니끄는 동무들과 가정으로부터 고립되였다. 꼬뻬르니끄는 어느 한때인가는 의사였고 점성학자, 지도제작자였으며 외교관, 경제리론가, 프로씨아의회 고문이기도 하였고 수많은 조카딸들의 보호자였다. 그는 인도주의자였으나 늘 바쁜 생활로 하여 그의 유명한 리론의 기초로 되는 관찰을 하기 어려워하였다.

1507년경에 그는 지구는 우주의 중심이라고 주장한 프톨레마이오스의 말이 정확하지 않다는것을 확신하게 되였다. 그때로부터 그는 모든 여가시간을 태양이 행성운동의 중심이라는 자기 견해의 정당성을 보여주기 위해 노력하였다. 그의 연구는 전쟁으로 하여 몇년동안 중단되기도 하였다. 꼬뻬르니끄는 20년간 하늘에서의 《방랑자》들의 위치들을 착실히 관찰하였다. 자기가 관찰한것을 이미전에 진행된 관찰들에서 기록된것들과 결합하여 꼬뻬르니끄는 프톨레마이오스의 모형에서 예언한것들의 약점들을 알아낼수 있었다.

1513년에 이딸리아로부터 뽈스까로 돌아왔을 때 그는 1700년전에 그리스의 천문학자 사모스의 아리스타르흐에 의해 제기된 사상을 상기하면서 태양계에서 행성들의 운동에 대한 모형을 정식화하였다. 꼬뻬르니끄의 모형에서 태양은 태양계의 중심에 멎어있으며 지구와 다른 행성들은 동심원둘레에서 태양둘레를 돌고있다. 그는 마치 왕실의 왕좌에 앉아있듯이 태양은 행성들이 자기 둘레를 돌아가도록 한다고 말하였다. 이 모형에서 지구는 태양둘레로 돌고있는 몇개의 행성들중 하나의 지위로 떨어졌다. 결국 지구는 모든 창조물들의 중심의 지위를 차지하는 특수한 존재가 아니라는것이 밝혀졌다. 꼬뻬르니끄는 자기의 이 생각을 글로 써서 주장하였다.

《지구의 중심은 우주의 중심이 아니다. … 모든 천체들은 마치도 태양이 모든것의 중심에 있듯이 태양둘레를 돈다.》

물론 꼬뻬르니끄는 자기의 사상이 교회의 교지와 대립된다는

것을 알고있었다. 때문에 그는 이 글이 널리 퍼지는것을 삼가하였다. 그러나 꼬뻬르니끄의 모형은 신교파지도자들로부터 엄중한 공격을 받게 되였다. 16세기 유럽종교개혁의 제창자인 마르틴 루테르는 꼬뻬르니끄에 관하여 《이 바보는 천문학전체를 뒤집어엎으려고 한다!》고 말하였다. 모든것을 경전에 있는대로 보아야 한다는 루테르의 주장은 자연의 물체들의 거동은 관찰 혹은 실험과 과학적방법이라고 부르는 추리의 결합에 의해서만 리해될수 있다는 꼬뻬르니끄의 믿음과 예리하게 대조되였다.

## 《천체의 회전에 대하여》

종교지도자들에 의한 공격때문에 꼬뻬르니끄는 자기의 생각을 구체적으로 서술할수 없었다. 그러나 진실을 주장하는 사람들은 꼬뻬르니끄를 고무하였다.

수학교수인 게오르그 죠아낌은 꼬뻬르니끄의 사상에 대하여 더 잘 알기 위하여 노력하면서 그에게 정확한 자기의 생각을 글로 남길것을 권고하였다. 꼬뻬르니끄는 70살에 가까운 나이였으나 그의 권고대로 자기의 생각을 6개 부분으로 나누어 글로 남기게 되였다.

즉 가장 론의할 가치가 있는 첫번째 부분은 태양계안에서 물체들의 배렬과 관련한 부분이고 둘째 부분에는 자기의 새로운 별목록을 포함시켰다. 셋째 부분은 세차운동으로 되여있다. 즉 지구의 극이 운동하기때문에 고정된 별주위로 하늘이 회전하는것으로 보인다는것을 설명하였다. 넷째 부분은 달의 운동을 론했으며 다섯째와 여섯째 부분에서는 행성들의 운동들을 론의했다. 이렇게 되여 1543년에 출판된 꼬뻬르니끄의 책 《천체들의 회전에 대하여》가 씌여지게 되였다.

이 책은 도이췰란드의 뉴른베르그에서 처음으로 출판되였다.

자기가 그렇게도 열심히 연구한 리론들을 출판할 전망이 없어 앓고있던 꼬뻬르니끄를 찾아온 그의 지지자들은 꼬뻬르니끄의 원

고들을 직접 복사하여 위텔베르그의 신교파학자 안드레아스 오쉰더의 감독하에 그것들을 인쇄하기 위한 준비를 해주었던것이다. 그러나 오쉰더는 꼬뻬르니끄가 교회가 인정하는것과는 다른 우주에 대한 견해를 제기한것으로 하여 위험한 상태에 놓여있다는것을 알게 되였다. 그는 그의 리론을 구체적으로 설명하기도 전에 그것이 거절될수 있다고 걱정하게 되였다.

하여 안드레아스 오쉰더는 1541년에 꼬뻬르니끄에게 편지를 보내여 그가 태양계의 배렬에 대한 교회의 교리에 대한 직접적인 공격을 피하라고 권고하였다.

오쉰더는 꼬뻬르니끄에게 교회의 탄압을 받지 않으려면 머리글에서 꼬뻬르니끄의 가설도 프톨레마이오스의 가설도 관찰되는 행성들의 운동을 설명할수 있다고 지적해야 한다고 제의하였다. 꼬뻬르니끄는 이것을 거절하였다.

그러나 오쉰더는 꼬뻬르니끄가 쓴 머리글을 삭제하고 꼬뻬르니끄의 태양계가 순수한 가설에 지나지 않는다고 하는 머리글을 그것을 쓴 사람의 이름을 밝히지 않고 자신이 썼다. 결국 독자들은 그것을 꼬뻬르니끄가 쓴것으로 억측하게 되였다. 이것은 꼬뻬르니끄를 몹시 노하게 하였으나 그는 너무나도 심하게 앓고있는 상태였다.

꼬뻬르니끄는 1543년 죽기 전까지 인쇄된 자기의 저작을 보지 못하였다. 그러나 그가 쓴 책에 의하여 꼬뻬르니끄의 한생의 위업이 살아있게 되였다.

오쉰더의 머리글로 하여 꼬뻬르니끄가 쓴 책은 얼마동안은 로마의 카톨릭교신자들의 공격으로부터 피할수 있었다.

그러나 종당에 이 책은 1616년까지 로마 카톨릭교회의 금지된 책들의 목록에 들어가고야말았다. 이 시기가 바로 바띠까노에 있는 법왕청의 기관이 꼬뻬르니끄의 연구에 대하여 공개적으로 지지한 천문학자 갈릴레이에 대한 조사를 시작한 때였다.

그들은 태양중심태양계의 사상을 《어리석고 철학적으로 맞지 않는》것이라고 공표하였다.

그동안에 로마 카톨릭교지도자들은 지구와 지구상의 사람의 특수한 지위에 대하여 부인하는 또하나의 도전에 부딪쳤다. 이딸

리아의 천문학자이며 철학자인 카톨릭교 목사인 죠르다노 브루노는 지동설을 지지하고 우주에는 사람이 살고있는 다른 세계가 있을수 있다고 말한것으로 하여 1600년에 화형당하였다.

## 3가지 체계

카톨릭교지도자들은 꼬뻬르니끄의 학설을 배격하였지만 그가 내놓은 방법을 리용하여 행성의 위치들을 간단히 예언할수 있었기때문에 유럽에서는 그것이 행성의 위치를 예언하는 방법으로서 천문학자들과 점성학자들속에서 광범히 쓰이고있었다.

그러나 여전히 프톨레마이오스체계에서 도달한 정밀도를 얻기 위하여서는 원들의 복잡한 결합들을 리용해야 했으며 그것은 지구가 어떻게 자기축주위로 회전할수 있으며 태양둘레로 돌수 있는가를 해석할수 없었다.

지구가 1년에 한번씩 태양주위로 돌아간다면 지구가 움직일 때 별들의 위치들이 변해야 한다는 결론이 나왔는데 별들의 위치의 이러한 변화는 관찰되지 않았다.

지구가 운동한다는것은 또한 그 시기 철학 및 신학적사상들과 어긋나는것으로 보였기때문에 꼬뻬르니끄체계를 심중히 받아들인 사람들은 몇명의 천문학자들뿐이였다.

꼬뻬르니끄의 연구는 후에 요한네스 케플레르와 갈릴레이를 포함한 유럽의 천문학자들에게 영향을 미치였으며 과학자들속에서 태양을 중심으로 하는 태양계모형을 받아들이는 새로운 단계를 열어놓았다.

갈릴레이와 케플레르는 비록 지구가 운동한다는것을 직접적으로 증명하지 못하였지만 그들은 17세기초에 꼬뻬르니끄체계에 대한 철저한 옹호자들이였다.

케플레르는 1600년에 튀코의 조수로 되였다. 망원경이 도입되기전의 가장 우수한 천문학자는 튀코 브라헤였다.

천체들의 위치를 측정하기 위하여 대단히 큰 기구들을 만듦으로

써 그는 그리스사람들이 리용한것보다 천체관측의 정확성을 약 10배나 더 높였다. 그러나 그는 여전히 꼬뻬르니끄체계로부터 나오는 별들의 이동을 측정할수 없었다.

그는 태양중심천문학이 수학적으로 우월하다는것을 인식했으나 지구가 움직인다는 사상을 받아들일수 없었다.

이리하여 그는 태양이 멎어있는 지구둘레로 회전하며 모든 다른 행성들은 태양둘레로 원경로를 따라 회전한다는 절충적인 체계를 제기하였다. 튀코체계는 천문학자들속에서 지지를 받았다.

그래서 16세기말에 이르러 세계적으로 서로 경쟁하는 3가지 체계들이 존재하게 되였다. 그것은 프톨레마이오스체계(지구중심체계), 꼬뻬르니끄체계(태양중심체계) 그리고 튀코체계(지구—태양중심결합체계)들이였다.

튀코가 사망한 1년후에 케플레르는 튀코가 측정한 정확한 자료들을 리용하여 꼬뻬르니끄의 체계를 발전시키기 시작하였다. 1609년에 그는 책 《새로운 천문학》에서 화성의 자리길에 대한 해석을 발표하였는데 여기서 그는 행성들은 타원자리길을 따라 운동한다는것을 증명하였다.

이것은 꼬뻬르니끄의 체계를 간단하게 만들었다. 왜냐하면 매개 행성의 운동을 계산하는데 원들의 복잡한 결합이 아니라 하나의 타원만이 요구되였기때문이다.

케플레르는 행성들에 대한 꼬뻬르니끄의 동심원모형을 타원자리길로 바꾸었으며 관찰된 행성의 위치들과 태양중심모형의 예언들사이에 남아있던 모순들을 다 제거하였다.

갈릴레이는 케플레르와 편지거래를 하면서 태양중심설에 대한 자기의 견해에 대하여 많이 이야기하였지만 천문학에서 원들의 중요성에 대하여 강하게 강조하였지 타원자리길에 대하여서는 언급하지 않았다.

갈릴레이는 북부이딸리아의 삐자에서 태여났다. 그의 아버지는 음악가였는데 그가 쓴 책인 《고대음악과 현대음악에 대한 대화》는 케플레르가 천문학에 음악의 화성원리들을 적용하려는 시도에서 리용되였다. 1581년에 갈릴레이는 의학을 공부하기 위하

여 삐자종합대학에 들어갔다.

그러나 4년후 그는 자금부족으로 도중에 그만두지 않으면 안되였다. 자습으로 수학을 더 공부한 다음 그는 1589년에 삐자종합대학에 수학교수로 초빙되였다. 아리스토텔레스의 지지자들과의 대립때문에 3년후에 그는 퇴직하여 빠두아종합대학에 입직하게 되였는데 여기서 운동에 대한 연구에 힘을 넣었다.

1609년 7월에 네데를란드의 렌즈연마자인 한스 리뻬르쉬가 렌즈들을 결합하여 만든 확대경에 대한 말이 베네찌아에 들려왔는데 이때부터 갈릴레이는 운동에 대한 자기의 연구를 중단하였다.

이 소식을 들은 후 갈릴레이는 렌즈들을 연마하여 여러가지로 배치해보는 과정에 약 30배의 확대률을 가지는것을 찾아내였다. 그가 베네찌아의회에 자기의 망원경들중의 하나를 기증했을 때 그들은 그의 교수직을 다시 회복시키고 그에게 2배의 봉급을 주었다.

그는 두개의 렌즈로 기하학적영상을 연구하던 케플레르에게 다른 망원경을 빌려주었다.

갈릴레이는 망원경의 주되는 가치는 우주를 관측하는데서 새로운 전망을 열어놓는데 있다는것을 인식하였다.

몇명의 그의 동시대인들은 이것이 천문학에서 얼마나 유익한가 하는것을 인식하고있었지만 일부 사람들은 심지어 그것이 사람을 속이는것이라고 하면서 그 리용을 반대하였다.

1610년에 갈릴레이는 《별세계의 보고》로 불리우는 작은 소책자에서 목성의 가장 큰 4개의 《달》들을 포함하는 자기의 최초의 발견들을 공개하였다.

이 성과로 하여 그는 삐자종합대학의 제일가는 수학자로 지명되게 되였으며 로마의 교황 빠울 5세의 인정을 받게 되였다.

망원경을 리용하여 얻은 성과에 토대하여 갈릴레이는 꼬뻬르니끄학설의 선전이라고 해도 좋을 꼬뻬르니끄체계에 대한 보다 대담한 론쟁에 뛰여들었다.

비록 그의 관측결과가운데는 지구가 운동하고있다는것을 보여주는 직접적인 증거를 주는것이 없었지만 그 결과들을 종합하면 그러한 견해를 접수할수 있다는것이 명백해졌다.

갈릴레이는 태양계에 대한 꼬뻬르니끄의 태양중심모형을 확증하였는데 그것은 과학적연구와 전통적인 지구중심학설인 아리스토텔레스의 철학과 교회사이에 불가피한 충돌을 가져왔다.

갈릴레이의 사상에 대한 저항이 일어나기 시작했다.

1616년에 그는 로마의 종교재판소로부터 지구가 움직인다는 사상은 명백히 부정된다는 경고를 받았다.

1623년에 로마법왕 우르반 8세가 즉위했을 때 갈릴레이는 로마로 가서 새로운 로마법왕과 회견을 가지고 지구의 운동을 하나의 과학적가설로 쓰는것을 허가받았다.

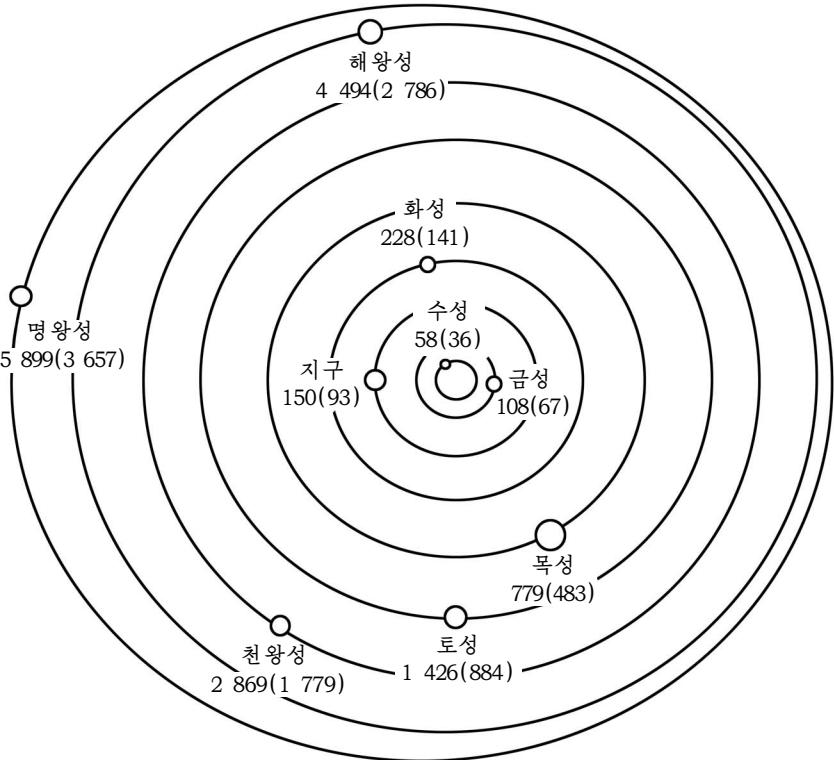



그림 4. 백만㎞안에서 태양으로부터 행성까지의 거리(mile)

그후 6년동안 그는 자기의 걸작품인 《두가지 새 과학에 대한 론의와 수학적증명(신과학대화)》을 집필하였다.

여기서 꼬뻬르니끄체계와 프톨레마이오스체계를 가능한껏 공평하게 비교하였는데 그것은 태양중심체계에 대하여 호감을 크게 가지게 하고 튀코체계를 배격한 설득력있는 책으로 되였다.

게다가 그때까지 보통 학자들이 쓰던 라틴어대신에 갈릴레이는 광범한 사람들이 리해할수 있는 이딸리아어로 책을 썼다.

갈릴레이는 1630년에 로마의 주검열관에게 자기의 원고를 제출하였다. 몇년간의 지연과 중요한 많은 부분들을 수정한 후 마침내 로마와 플로렌스에서 출판이 승인되여 그것은 1632년에 출판되였다.

대화의 마지막부분에서는 꼬뻬르니끄의 리론이 《결코 진실한것도 아니며 결론적인것도 아니다.》, 《사람은 신이 선사한 능력과 지혜를 자기자신의 하나의 특별한 환상으로 제한하지 말아야 한다.》는 로마법왕의 말을 포함시켰다.

공교롭게도 갈릴레이는 이 말들을 아리스토텔레스의 견해를 대변하며 궁냥이 좁은 보수주의자라는것이 명백히 알리는 씸플리치오의 입으로 말하게 하였다. 책들의 판매는 중지되고 갈릴레이는 로마에 호출당하였다.

1633년 겨울에 몹시 앓고있은 갈릴레이는 담가에 실려 로마로 갔다. 종교재판소에서 심문을 받으면서 태양중심계의 진실을 가르쳤다는것을 강하게 부정하였으나 그는 유죄판결을 받았으며 《두가지 새 과학에 대한 론의와 수학적증명(신과학대화)》은 총체적으로 금지당하였다.

갈릴레이의 《두가지 새 과학에 대한 론의와 수학적증명(신과학대화)》은 비록 로마카톨릭교의 비난을 받고 금지된 책들의 목록에 들어있었지만 그것은 과학혁명에 큰 영향을 주었으며 꼬뻬르니끄의 태양중심계에 대한 믿음을 더 크게 해주었다.

그것은 뉴톤에 의한 종합적인 설명과 함께 19세기 문예부흥기에 최절정에 이르렀다.

# 갈릴레이의 대화

1632년에 출판된 갈릴레이의 《세계의 두 체계에 대한 대화(천문대화)》는 유럽의 천문학자들의 마음속에 확고히 자리잡게 되였다.

여기서 갈릴레이는 플라토가 내놓은 변증법적형식으로 세 등장인물의 말을 통하여 자신의 생각을 론증하였다.

씸플리치오는 이딸리아말로 어리숙한 사람이라는 뜻을 가진 성인데 그는 전통적으로 인정되고있는 아리스토텔레스의 견해의 지지자이다.

아리스토텔레스는 지구가 멎어있고 하늘이 지구둘레를 하루에 한번씩 돌아간다고 본 프톨레마이오스의 견해가 옳다고 생각하고 있었다. 쌀비아티는 현명한 사람으로 묘사되였는데 그가 갈릴레이의 생각을 대변하고있었다.

쌀비아티는 과학자이며 꼬뻬르니끄가 내놓은 지동설의 지지자이다. 세번째 인물인 싸그레도는 《중립》에 서있는 인물이다.

싸그레도는 꼬뻬르니끄학설의 지지자인 쌀비아티의 론거가 설득력있다고 본다. 이와 달리 씸플리치오는 교조에 매달리고있으며 자기자신의 관찰이나 리해에 기초하지 못하고있다.

이러한 대화형식은 갈릴레이가 자기의 생각을 납득시키기 위하여 적용한 전형적인 수법이다.

…

싸그레도: 나에 대하여 말한다면 이 새로운 견해 즉 태양중심설에 기초하여 얻은 결과들이 매우 단순하고 리해하기 쉬운 반면에 고대로부터 내려오면서 지금 공인되고있는 견해는 매우 복잡하고 갈피를 잡기 어려우며 리해하기 어렵습니다. …

나는 이것보다 더 훌륭한 견해에 대하여 들어본적이 없으며 그리고 인간의 사고가 이토록 치밀한 론거에 의거한것을 일찌기 본 일이 없다는것을 고백하지 않을수 없습니다. 나는 이것이 씸플

리치오에게 어떻게 보이는지 모르겠습니다.

씸플리치오: 만일 그것이 나에게 어떻게 생각되는가 하는것을 솔직히 말한다면 이것은 아리스토텔레스가 플라토에 대하여 그가 철학에서 벗어나서 너무 기하학에 대한 연구에로 치우쳤다고 비난한바 있는 바로 그런 기하학적세부라고 느껴집니다. (너무 기하학적으로 복잡해서 리해하지 못하겠다는 뜻을 담고있다.)

쌀비아티: 꼬뻬르니끄의 이 견해가 어떤 불합리한 점을 가지고있거나 지나치게 미묘한 점을 가지고있다고 생각하는지 당신이 한번 좀 말해보시오.

씸플리치오: 솔직히 말하면 나는 그것을 완전히 리해하였다고 말할수 없습니다.

그것은 같은 효과를 프톨레마이오스가 어떻게 설명하는지 나는 깊이있게는 알지 못하고있기때문입니다.

…아리스토텔레스의 가정에 의하면 단순한 물체는 오직 한가지 단순한 운동만 할수 있는데 이것이면 충분하다고 생각합니다. 그런데 꼬뻬르니끄의 체계에서는 단순한 물체인 지구가 세가지 또는 네가지 운동을 하는것으로 보였습니다. …

나는 이것이 매우 혐오한것으로 느껴집니다.

…

갈릴레이는 플로렌스가까이에 있는 자기 고향의 소유지에서 자택연금판결을 받았으며 특별한 허가가 없이는 외출할수 없었다.

갈릴레이는 자기 생의 마지막 10년기간에 실명당했지만 물질과 운동의 연구를 계속하였으며 그것은 그후 뉴톤에 의하여 꼬뻬르니끄체계에 대한 물리적기초를 주었다.

갈릴레이의 천문학적관찰들 그리고 아마도 그보다 못지 않게 중요한것 즉 권위앞에서 흔들리지 않고 태양중심계에 대한 자기의 확신을 명백히 표시한것은 우주에 대한 새로운 견해를 접수하는 길을 열어놓았다.

뉴톤은 후날 《내가 다른 사람들보다 더 멀리 볼수 있었다면 그것은 거인들의 어깨우에 서있었기때문이다.》라고 말하였는데 갈릴레이는 두말할것없이 그러한 거인들중의 한사람이였다.

# 우주선

아득한 우주공간으로부터 지구에로 무엇이 오고있는가.

망망한 저 하늘에서는 무슨 일들이 벌어지고있을가.

지구를 벗어나 세상밖을 내다보려는 과학자들의 탐구의 열망은 대단한것이였다.

노벨물리학상을 받은 미국의 물리학자인 로버트 앤드루즈 밀리컨(1868－1953년), 1936년에 칼 데이비드 앤더슨과 노벨물리학상을 함께 받은 오스트리아물리학자인 빅또르 프란쯔 헤쓰(1883－1964년), 1927년에 노벨물리학상을 받은 미국물리학자인 아써 할리 콤프톤, 도이췰란드물리학자인 웨르너 콜호스터(1887－1946년)들은 높은 곳의 대기복사의 원천은 지구대기권밖에 있다는 증거를 세우고 그 조사를 하였다.

## 복사는 어디서 오는가?

우주복사는 스위스물리학자 알버트 고켈이 1910년에 발견하였다. 그러나 복사가 지구대기권 밖의 원천으로부터 온다는것을 처음으로 제기한 사람은 빅또르 프란쯔 헤쓰였다. 헤쓰는 20세기초부터 알려져있는 현상인 공기의 이온화문제에 대하여 연구하고있었다.

처음에는 이 약한 이온화가 지구에서의 방사성원소들에 의하여 일어난다고 생각하고있었다. 이러한 가정으로부터 보다 높은 곳에서는 복사가 줄어들어야 한다는 결론이 나온다.

그러나 1919년에 헤쓰는 기구를 리용하여 5 200m까지 올라갔을 때 2 000m에서 복사가 증가한다는것, 3 000m이상에서는 그 세기

가 여전히 더 크게 높아진다는것을 발견하였다. 헤쓰는 그때 이미 생각하고있던것처럼 《침투성복사》가 우에서부터 대기층으로 들어온다고 결론지었다.

그의 연구는 9 000m까지 올라가는 기구를 제작한 도이췰란드물리학자 웨르너 콜호스터에 의해 1913년에 확증되였다.

그러나 적지 않은 물리학자들이 헤쓰와 콜호스터가 한 해석을 믿지 않았다. 심지어 복사가 실지로 존재하는가 하는것도 어느 정도 의문으로 남아있었다. 대기권밖에 강한 복사원천이 있을수 있다는 사상은 일부 학자들에게 도저히 상상할수 없는것으로 생각되였다. 어떤 사람들은 토양속에 있는 방사성우라니움이나 토리움이 복사를 일으킨다고 생각하였다. 또 헤쓰가 리용한 장치가 고장난것이였다고 생각하는 사람들까지 있었다.

그 복사가 헤쓰의 말대로 지구대기권안의 어디인가 보다 높은 곳에서 생겨난다고 믿으면서 적절한 위치를 생각하고있는 사람들도 없지 않았다. 미국의 물리학자 밀리컨은 바로 이 문제를 해결할 결심을 하였다.

1921－1922년에 진행한 밀리컨의 첫 실험은 대기에 많은 소리내는 기구들을 올려보내는것이였다. 그러나 이 실험들은 확정적이지 못하였다. 보다 발전된 실험이 1922년과 1923년에 수행되였으나 그로부터도 확정적으로 결론을 얻을수 없었다.

1925년 여름에 밀리컨은 아직은 측정되지 못한 복사선들의 침투능력을 결정하기 위한 실험을 설계하였다.

복사가 외부원천으로부터 온것이라면 그것들은 10m깊이의 물을 침투하는것과 맞먹는 대기층을 통과하는데 충분히 큰 침투능력을 가져야 할것이다. 알려진 방사성원소에 의해 생겨난 가장 강한 복사선들은 약 2m깊이이상 물을 침투하지 못하는것이였다.

밀리컨은 조수 죠지 하베이 카메른과 함께 캘리포니어에 있는 두개의 호수들인 위트니산가까이에 있는 뮤어호수(해발 3 650m)와 아로우헤드호수(해발 1 500m)에서 측정을 진행하였다.

밀리컨과 카메른은 뮤어호수의 물속으로 검전기를 가라앉히였다. 그들은 측정으로 우에서부터 오는 복사가 3가지 형태의 방사성

복사들중에서 가장 강한 γ선보다 18배나 더 강하다는것을 발견하였다. 이 복사는 대기층을 충분히 통과할수 있으므로 그것은 틀림없이 우주로부터 들어왔다는 증거를 주었다.

밀리컨과 카메른은 호수의 해발고의 차이를 고려하면 아로우헤드호수에서의 기록들은 뮤어호수에서 기록한것들과 같다는것을 발견하였다. 이것은 대기가 복사들을 투과시키지만 순수 흡수매질로 작용한다는것을 밀리컨에게 확증시켰다. 이제는 밀리컨이 복사선들이 대기권밖의 우주에서 온다는것을 확신하게 되였다.

1925년말 국가과학원회의에서 밀리컨은 자기의 발견들을 공표하고 이 새로운 복사를 《우주선》이라고 불렀다. 그는 이전에 알려진 가장 강한 복사가 방사성변환으로 생겨난것이라는데로부터 역시 이 우주선들을 어떤 종류의 핵의 변환의 결과라고 믿었다.

지구우에서 가장 강한 복사선들은 포톤들인데 그것은 헬리움이 수소원자들로부터 생겨날 때 또는 전자가 가벼운 핵들에 의해 포획될 때 생겨난다. 그러므로 밀리컨은 우주선들이 어떤 형태의 원자가 형성될 때 생겨난 포톤이라고 추측했다.

그는 다음으로 우주선들이 고에네르기포톤들로 이루어져있다는 자신의 가정을 검토하였다. 1926년에는 남아메리카의 띠띠까까호에 대한 연구를 진행하여 그곳에서의 발견과 뮤어호수에서의 발

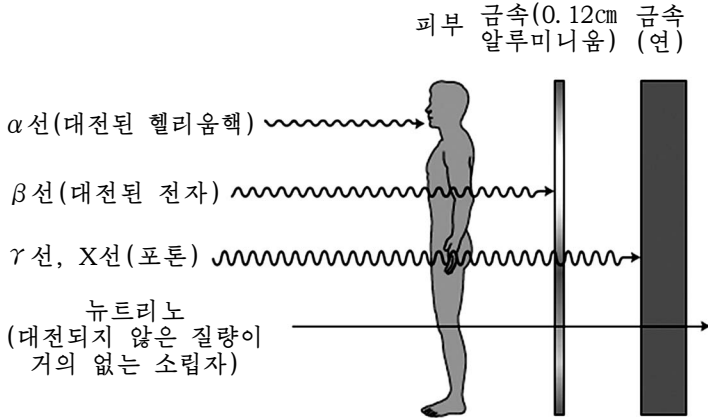



그림 5. 우주복사의 형태들

견사이에 거의 차이가 없다는데 주목을 돌리였다.

그 대신에 우주선들이 대전립자들로 이루어져있다면 지구자기마당은 지구를 가로지르는 복사의 분포에 영향을 미칠것이다.

그는 뻬루로부터 로스안젤스로 돌아오는 뽀트우에서도 측정을 진행하여 역시 변화가 없다는것을 확인하였다.

## 어느 모형이 정확한가?

포톤이 우주선들의 주요성분이라는 견해는 1929년에 도전에 부딪쳤다. 콜호스터와 도이췰란드의 물리학자 왈터 보데는 가이게르-뮐레르셈관으로 련속적인 실험을 진행한 결과에 우주선들은 사실상 대전립자들로 이루어져있다고 결론지었던것이다. 이 연구에 이어 많은 물리학자들이 어느 모형이 정확한가 하는 문제를 연구하기 시작하였다. 서로 다른 우주복사형태들은 서로 다른 물질을 침투할수 있다. 즉 $\alpha$선들은 피부를 침투할수 없다. $\beta$선들은 피부를 뚫고나갈수 있으나 금속은 뚫고나갈수 없다. $\gamma$선들은 피부와 금속을 다 투과할수 있으나 연을 침투할수 없다. 뉴트리노들은 연도 침투할수 있으나 그것들을 검출하기 극히 힘들다. 뉴트리노들이 물질과 대단히 약하게 호상작용하지만 그것들은 태양과 다른 별들속에서의 핵반응들에서 생겨난다고 믿게 되며 우주의 《질량손실》의 대부분을 구성할수 있다.

결정적인 실험은 노벨물리학상수상자인 콤프톤에 의해 진행되였다. 그는 지구자기마당이 강한 우주선에 대해 도대체 영향을 주는가, 준다면 어떤 효과를 주는가 하는 문제를 연구하였다.

그후 밀리컨과 콜호스터가 주목할만한 차이를 발견하지 못했지만 1927년부터 시작하여 많은 연구들은 《위도효과》가 있다는것을 보여주었다. 1932년에 콤프톤은 이러한 효과를 검출하기 위하여 지구에 대한 방대한 관찰을 조직했다. 1932년 9월에 관찰결과는 위도효과가 실제로 있다는것과 이리하여 우주선들은 밀리컨이 생각한것처럼 적어도 그 일부는 대전립자로 구성되여있다는것을 보여주었다.

# 에돌이

작은 구멍을 지나가는 빛은 구멍뒤에서 약간 퍼진다.

이딸리아의 수학자인 프란시스코 마리아 그리말디(1618－1663년)는 이 원리를 발견하고 그것을 《에돌이》현상이라고 불렀으며 빛이 흐르는 물과 류사하게 류체적본성을 가지는 결과라고 가정하였다.

네데를란드의 물리학자, 수학자인 크리스티안 후이겐스(1629－1695년)는 그리말디의 사상에 의해 파동론에 대한 연구를 진행하였다. 영국의 물리학자, 수학자, 천문학자이며 근대리론과학의 창시자인 아이저크 뉴톤도 그리말디의 연구에서 크게 영향을 받았다.

# 빛이 구부러진다

프란시스코 마리아 그리말디는 부유한 명주천상인의 셋째아들로 태여났다. 그리말디는 겉으로는 수학자이며 철학자였지만 그의 주되는 관심은 자연철학에 있었다.

1640년부터 1650년기간에 그리말디는 락하하는 물체에 대한 실험을 진행하여 자유롭게 떨어지는 물체에 대하여 수직변위는 물체가 정지상태로부터 떨어진 시간에 2배로 비례한다는것을 증명할수 있었다.

1645년부터 그리말디는 볼로냐의 자오선을 결정하기 위한 수학적분석들과 지리학적관찰들에 종사하였다. 측정과정에 그는 달의 모양이 달라지는 동안에 자기가 망원경적관찰로부터 완성한 정확한 지도에 포함되여있는 달의 산들의 높이들을 측정하기 위

한 효과적인 사분의를 포함하여 자기자신이 많은 기구들을 만들어야 했다. 사분의는 천체의 고도를 재는 기구이다.

이 지도를 준비하면서 그리말디는 유명한 분화구들에 이름있는 과학자들의 이름을 붙이는 일을 시작하였다. 그리말디라는 이름을 붙인 분화구들도 있다.

그리말디는 자기의 연구를 종합하여 많은 천문학적표들과 고정된 별들에 대한 특징들을 책으로 남기였다.

그리말디의 가장 성공적인 연구는 새로 태여나고있던 광학분야에서 이루어졌다. 약 1665년경에 이딸리아의 북부도시인 볼로냐의 대학에서 수학교원으로 일하면서 그리말디는 생애의 마지막시기에 정교한 광학실험들을 시작하였다. 이러한 실험들은 명백히 공기속으로 전파하는 빛이 단순히 직선으로가 아니라 물체둘레에로 약간 구부러진다는것을 보여주었다.

이 새로운 현상은 마치도 자기의 경로에 있는 장애물뒤로 갈라지는 물흐름과 꼭 마찬가지로 빛이 물체둘레로 흐르도록 하는 류동성을 가진다는것을 말해주므로 흩어지다(breaking up)라는 라틴어로부터 《에돌이》라고 이름을 붙이였다.

그리말디의 실험이 있기 이전에 과학자들은 빛이 같은 매질속에서는 언제나 직선으로 전파한다고 생각하였는데 그것은 빛이 빨리 움직이는 작은 립자들로 이루어져있다고 보는 널리 퍼지고있던 립자론이 옳다고 볼수 있는 근거를 주었다.

빛이 서로 다른 매질 실례로 공기속에서 물속으로 들어갈 때 구부러지거나 혹은 굴절된다는것은 고대로부터 알려져있었다.

대비적으로 에돌이는 같은 매질안에 있는 물체둘레에서 또는 구멍을 지나는 빛이 구부러지는 현상이다.

에돌이는 물파, 소리파 그리고 빛파와 같은 모든 형태의 파동들에서 나타나지만 빛파동인 경우에는 그것의 파장이 매우 작기때문에 그 효과들을 감촉하기 힘들다.

에돌이에 대한 그리말디의 실험들은 두가지 서로 다른 형태 즉 하나는 서로 다른 모양의 불투명체에 의해 생겨난 그림자들과 다른 하나는 원형구멍들을 지나는 빛을 조사하는것이였다.

그림자실험을 하기 위하여 그리말디는 밝은 태양빛을 직경이 1/60in인 아주 작은 구멍을 지나 어두운 방에 들여보냈다. 이것은 경사지게 설치한 흰 가림판우에 투영되여 태양의 타원영상인 빛원추를 형성하였다. 그는 구멍과 가림판사이에 좁은 불투명한 막대기를 끼워넣어 그것의 그림자가 나타나게 하였다.

이 그림자를 주의깊이 조사하면서 그리말디는 그것의 크기가 예언한 빛들의 선형투영보다 얼마간 작다는것을 관찰하게 되였다. 더우기 놀라운것은 그림자의 경계가 좁은 색무늬들로 경계지어진다는것을 관찰한것이였다. 그는 이 에돌이띠들을 좀더 상세히 조사하였다. 즉 보통은 세개의 띠가 있는데 그것들은 그림자쪽에 보다 가까울수록 세기와 폭이 증가하였다. 가장 가까이에 형성된 띠는 그것의 중심에 흰 구역으로 되여있고 그림자가까이쪽으로 좁은 보라빛띠와 경계를 이루고 그림자에서 멀어지는쪽으로는 가느다란 붉은 띠와 경계를 이룬다.

그리말디는 밝고 어두움이 교체되는 띠들에 대한 계렬이 틀리는 것을 피하기 위하여 이 색띠들을 주의깊이 관찰해야 한다는데 주의를 돌리였다.

다음으로 그는 막대기를 두개의 직각모서리를 가진 계단모양의 물체로 바꾸고 불투명한 물체들의 모양이 변하는 효과를 조사하였다.

그는 띠들이 바깥모서리둘레로 어떻게 구부러지며 어떻게 그림자의 가장자리를 계속 따라가는가 하는것을 꼼꼼히 기록하였다. 그는 또한 안쪽모서리의 매개 가장자리로부터의 두개의 련속적인 띠들이 접근할 때 그것들은 보다 어두운 구역들로 갈라진 보다 밝은 색령역들을 이루면서 서로 수직으로 사귄다는것을 보여주었다.

그리말디는 서로 다른 폭을 가진 몇개의 L자모양의 물체들을 리용할 때 생겨난 색띠들을 연구하였다. 그의 도형들은 L자의 끝에서 반원으로 둘레에 구부러짐으로써 련결된 경계들에 평행인 두개의 련속적인 자리들의 상태들을 보여준다.

그는 띠들이 쌍으로만 나타나며 그 수는 장애물의 폭과 가림판으로부터 장애물까지의 거리에 따라 증가한다는데 주의를 돌

렸다. 그는 또한 L자의 모서리들에서 추가적인 계렬들의 보다 밝은 색들이 나타난다는것을 관찰하였다.

그는 이것을 모서리로부터 복사하며 수직으로 쌍을 이루는 빛자리길을 가로지르는 5개의 깃털모양의 빛주름들로 그림풀이하였다. 그리말디는 이것을 움직이는 배뒤에서의 물흐름과 비교하였다.

다음으로 그리말디는 구멍실험들을 진행하였다.

그리말디의 구멍실험은 빛원추가 벽에 투사되기 전에 약 1/10in의 직경을 가진 두번째 구멍을 통과시키는것이였다. 구멍들사이의 거리와 벽과 두번째 구멍사이의 거리들은 약 3.7m였다.

그리말디는 반대켠 벽우에서의 원형빛투사는 직선전파리론에서 예언된것보다 약간 크다는것과 경계가 같은 붉은색과 푸른색띠들을 나타낸다는것을 관찰하였다. 그는 또한 이 에돌이효과들은 아주 작으며 극히 작은 구멍들을 리용할 때에만 관찰할수 있다는데 주의를 돌리였다.

그리말디는 또한 해빛이 린접한 두개의 작은 구멍들을 통하여 방에 들어올 때 두개 빛묶음들에 의해 비쳐진 구역들은 두 구멍이 따로따로 비쳐질 때보다 어둡다는것을 발견하였다.

비록 그는 그때 오늘날 잘 알려져있는 《빛파동들의 간섭》의 원리를 관찰하고있다는것을 리해하지 못했지만 이러한 관찰을 빛이 물질 즉 립자가 아니라는 결정적인 증거로 보았다.

그리말디는 주의깊은 실험들에 기초하여 빛은 류체적본성을 가지며 맥동하는 류체기둥으로서 색무늬들을 나타낼수 있는것이라고 생각하였다. 색갈들은 흰빛자체에 고유한것이며 어떤 외부작용에 의해 만들어지는것이 아니다. 그리말디에 의해 그렇게 주의깊이 측정되고 기록된 에돌이효과는 빛이 주기적인 파동으로 이루어져있다는것을 보여주었지만 그리말디는 그런 생각을 하지 못한것 같다.

그리말디는 다른 많은 광학적문제들과 함께 빛과 색갈들, 무지개에 대한 물리－수학적리론을 담은 자기의 포괄적인 저작에서 에돌이에 대한 실험들을 상세히 서술하였다.

# 파동론이 옳다

그리말디의 연구에서 자극을 받은 크리스티안 후이겐스는 빛의 파동리론을 발전시키는데 달라붙었다. 그는 눈에 보이지 않는 모든 침투매질을 통하여 전파하는 파동들을 상상하고 파면들이 이 매질을 통하여 어떻게 전파하는가를 보여주는 원리를 설정하였다. 이 원리를 리용하여 그는 잘 알려진 반사, 굴절법칙을 유도하였다. 파동론에 의하면 빛이 밀도가 작은 매질로부터 밀도가 큰 매질속에로 경사져서 지나갈 때 빛이 입사각보다 작은 굴절각으로 굴절한다는 실험결과를 설명하기 위하여서는 파동의 속도가 작아져야 한다는 결론이 나왔다. 그리말디의 연구에서 큰 영향을 받은 뉴톤도 역시 빛의 립자설 혹은 미립자론을 주장했는데 이 리론에서는 굴절에 의해 빛이 보다 밴 매질속으로 들어갈 때 립자들의 속도가 증가해야 한다는것을 보여주었다. 그는 모서리둘레에서 예언된 빛의 구부림을 관찰하지 못했기때문에 파동론을 반대하였다. 그리말디의 에돌이결과들은 굴절때문이라고 설명하였다. 그는 매질의 밀도는 장애물가까이에서 감소되므로 빛이 구부러진다고 제기하였다. 뉴톤은 물파동에서 파동들의 간섭을 관찰하고 그것을 불규칙적인 조수효과들을 설명하는데 리용하였으나 광학에 적용하지는 못하였다.

누구도 뉴톤을 반박하지 않은것은 뉴톤의 명성때문이였다. 이러한 론쟁은 영국의 과학자 토머스 양(1773－1829년)에 의하여 파동론이 옳다는것으로 해결되였다. 1802년에 양은 빛의 간섭을 실증하는 실험결과들과 뉴톤의 실험들이 파동론에 의해 쉽게 설명된다는것을 증명하는 실험결과들을 발표하였던것이다.

립자론을 최종적으로 반박한것은 프랑스의 물리학자 레옹 푸꼬(1819－1868년)에 의해 1850년에 이루어진 물속에서의 빛속도에 대한 실험적측정이였다. 그의 엄밀한 측정들은 물속에서 빛속도가 공기속에서보다 훨씬 작다는것을 증명하였다.

# 전하

스테픈 그레이의 전기적실험들을 확장하여 빠리과학원의 프랑스 과학자인 샬-프랑쏘아 듀 파이(1698-1739년)는 두 종류의 전기 즉 《유리》전기와 《수지》전기들을 발견하였다. 그는 같은 전하들은 배척하며 서로 다른 전하들은 끌어당긴다는것을 보여주었다. 이 두 종류의 전기류동체리론은 벤져민 프랭클린(1706-1790년)에 의해 하나의 류동체리론으로 발전하였다. 이 리론에서는 전기류동체의 과잉 혹은 부족을 듀 파이의 두 종류의 전기대신에 양전기, 음전기라고 불렀다.

이들과 함께 영국의 기구제작자인 프랜시스 하욱스비가 전기에 관심을 돌렸다.

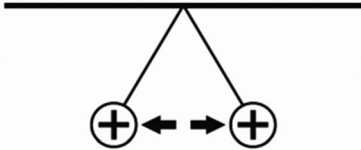
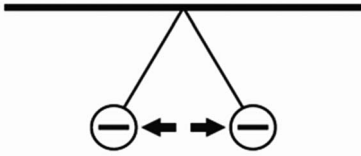
# 전기적현상들

그리스의 자연철학자 탈레스는 호박을 문지르면 그것들이 다른 물체를 끌어당긴다는것을 발견하였다. 여기로부터 《elektron》(호박)이라는 술어는 《electricity》(전기)로 발전되였다.

영국의 물리학자 윌리암 길버트는 16세기 후반기에 약 30가지 물질들이 전기를 흘러보낼수 있다는것을 보여주었으며 이때로부터 전기적현상에 대한 현대적연구가 시작되였다.

17세기에 전기적현상은 신비스러운 현상으로 취급되였으므로 별로 관심을 모으지 못하였다.

전기에 대한 연구는 영국의 전기실험가인 스테픈 그레이가 1729년에 《전기효과》인 전도성을 발견하고 전도체와 절연체의 차

같은 전하들은 서로 배척한다.

다른 전하들은 서로 끌어당긴다.

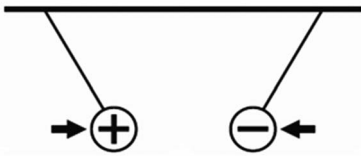



그림 6. 전하들의 운동

이를 발견하였을 때부터 활발해지게 되였다.

이에 기초하여 프랑스의 과학자 듀 파이는 같은 류동체들은 배척하고 다른 류동체들은 끌어당긴다는 두 종류의 전기류동체리론을 내놓았다. 듀 파이의 연구는 프랭클린의 실험으로 이어져 하나의 류동체 혹은 단일류동체리론인 양전기와 음전기리론으로 발전하였다.

교육을 받지 못한 기구제작자이며 런던왕립협회의 실험교육자인 프랜시스 하욱스비는 18세기 영국에서의 전기학에 흥미를 가지였다. 협회회장으로 일하는 뉴톤으로부터 고무를 받은 그는 호박대신에 긴 프린트유리관을 리용하여 1706년에 전기에 대한 실험을 진행하여 정전기적밀힘을 관찰하였다. 그가 유리관을 비비였을 때 그것은 물체의 쪼각들을 끌어당겼을뿐아니라 때로는 관에 달라붙었다가 떨어졌던것이다.

그레이는 이 전기적실험을 반복해보았다.

1708년에 그는 하욱스비와 류사한 유리관으로 실험한 결과들을 왕립협회에 보내였다. 1720년에 협회에 발표된 그의 첫 론문은 어두운 곳에서 비빈 유리관으로부터 빛과 불꽃이 일어난다는것을 묘사하였으며 전기를 띨수 있는 몇가지 새로운 물질들을 확인하였다. 1729년의 두번째 론문에서 그는 전기전도에 대한 자기의 발견에 대하여 서술하였다. 먼지가 들어가지 않게 유리관끝들에 코르크마개를 꽂아 밀봉하였을 때 그는 코르크마개가 바닥에 놓여있는 깃털을 끌어당겼다가 배척한다는것을 발견하였다.

그는 그것을 《려기된》 관에 의해 코르크마개에 전달된 끌어당

기는 《효과》였다고 결론하였다. 이 론문에서 그레이는 전기효과의 하나인 전도성에 대한 련속적인 실험들을 서술하였다.

그는 코르크마개의 한쪽끝에 가늘고 긴 막대기를 끼워넣고 그 막대기의 다른 끝으로 이 상아공의 끌리움을 관찰하였다.

그는 다음에 유리관안에 있는 코르크마개로부터 나온 금속선이 상아공에 전기를 유도할수 있다는것을 발견하였다.

그는 유리관에 묶은 약 10m의 삼실에 매달린 상아공에 의한 끌림을 관찰하였다. 다음에는 지붕대들보에 매단 짐묶는 끈에 의해 걸려있는 수평선을 따라 전기적효과를 통과시키기 위한 몇가지 시도들을 하였으나 성공하지 못하였다.

그는 이것은 대들보를 통하여 전기가 새여나가기때문이라고 결론짓게 되였다. 그후 그는 수평선을 유지하는데 삼실대신에 명주실을 리용함으로써 마침내 성공할수 있었다.

그레이는 텅빈 건물안에서 90m까지의 삼실로 실험을 계속하였다. 그러나 그가 보다 긴 선을 지탱하기 위하여 금속선을 리용하였을 때 실험은 실패하였다. 다시 명주실을 리용하여 그는 약 200m까지 전기를 보내는데 성공하였다. 이리하여 그는 마침내 명주실이나 유리와 같은 절연체와 금속이나 삼실과 같은 도체들사이에 근본적으로 차이가 있다는것을 인식하게 되였다.

마침내 그는 직접 접촉하지 않고 대전된 유리관의 영향에 의하여 금속선들이 대전된다는것을 보고하였다.

# 류동체에 대한 리론

프랑스 빠리과학원에서 전기에 대한 연구는 과학원이 인정하는 모든 학문들에 론문을 발표한 자습으로 배운 과학자인 듀 파이에 의해 시작되였다.

1732년에 듀 파이는 그레이의 실험에 대해 듣고 전기에 대한 자기의 첫 연구보문에서 현존하는 문헌들을 다시 조사했다.

그리고는 자기의 실험들과 발견들을 보고하였다. 그는 모든 물질들은 적당히 건조된다면 고체는 마찰에 의하여, 류동체들은 전기적영향에 의하여 대전될수 있다는것을 보여주었다.

그는 전도에 대한 그레이의 실험들을 반복하여 약 380m까지의 범위안에서 유리관우에 지탱한 눅눅한 삼실을 리용하여 보다 더 좋은 결과를 얻었다.

1733년에 듀 파이는 금박들은 대전된 유리관에 끌릴수 있으나 그것들은 관에 가까이 접근하거나 관을 다칠 때 서로 반발한다는 것을 발견하였다. 이것은 정전기적배척의 첫 명백한 연시였다.

그러나 그를 놀라게 한것은 송진막대기가 하나의 금박막을 대전시켰을 때 그것이 다른 금박막을 끌어당긴다는것이였다.

이로부터 그는 두 종류의 전기가 존재하며 그것들이 어떻게 거동하는가를 결정하려고 하였다.

듀 파이는 이 실험에 기초하여 《유리》전기—즉 유리나 바위결정, 귀금속들과 같은 굳은 물질들과 호박, 송진, 종이와 같은 부드러운 물질들인 《수지》전기로 구별하였다.

그다음 그는 대전된 유리물체들이 어떻게 수지물체들을 끌어당기는가, 두개의 유리물체나 두개의 수지물체들이 어떻게 서로 반발하는가를 묘사하였다.

듀 파이가 비록 《류동체들》에 귀착시키지는 못하였지만 그의 발견은 두개의 류동체전기리론 즉 같은 《전기류동체들》은 반발하고 다른 류동체들은 끌어당긴다는 리론으로 불리웠다.

듀 파이는 자기의 결과들을 왕립협회에 보냈는데 그것은 영어로 번역되여 1734년에 발표되였다.

전기적류동체들을 물체에 전달하는것은 《전기적충전》이라는 술어로 쓰이면서 물체를 충전한다 혹은 대전시킨다고 말하게 되였다.

1746년에는 보쓰턴에서 벤져민 프랭클린이 전기적현상을 소개하였으며 그것들에 대한 실험에 착수하였다.

1747년에 그는 하나의 전기류동체리론을 발표하였는데 여기서 전기를 전달한다는것은 하나의 물체가 전하를 잃어버려 음으로 되고 다른 물체는 전하를 얻어 양으로 된다는것이라고 하였다.

후날 그는 듀 파이의 유리 및 수지류동체들을 각각 양전하, 음전하로 구별하였다. 대전은 전하를 창조하거나 없애지 않으며 이때 다만 한 물체에서 다른 물체에로 넘어간다는 프랭클린의 가정은 전하보존법칙을 암시한다.

# 전기는 량적으로 측정할수 있다

양전하와 음전하의 식별과 그것들의 특성들의 해명은 현대적인 전기과학을 탄생시켰다. 수학적인 표현으로서 《+》와 《−》를 리용하여 프랭클린은 전기는 량적으로 측정할수 있다는 가능성을 제기하였다. 그의 리론에 기초하여 1785년에 프랑스의 기사 샤를 오귀스땡 드 꿀롱은 전기적힘에 관한 법칙을 발견했다.

전류로써 전하들의 흐름을 유지하는 방법들의 발견은 19세기에 가열, 빛내기, 전자기, 전신 그리고 많은 다른 응용과 관련된 실천적인 분야를 열어놓았다.

프랭클린이 제기한 양전하와 음전하의 선택은 불합리하다는것이 밝혀졌다. 19세기말에 영국의 물리학자 죠우지프 존 톰슨에 의하여 전자가 발견되자 유리물질들은 마찰때 전자를 잃게 되므로 음물질이라고 불러야 하며 수지물질들은 전자를 얻게 되므로 양물질로 불러야 한다는것이 명백하여졌다. 이 오유를 조종하기 위하여 전자들은 음이며 음전하의 기본단위로 지정되였다. 해당한 양전하의 단위는 20세기초에 발견된 음전하의 크기와 같고 부호가 반대인 전하 즉 양성자인데 그것은 전자보다 거의 2천배나 더 무겁다.

원소의 원자번호는 핵둘레를 돌고있는 전자의 수와 같은 원자핵안의 양성자의 수와 같다. 대다수의 도체들에서 전류는 프랭클린의 한가지 류동체리론에 따라 다만 전자들의 흐름으로 이루어지지만 기체방전들에서는 듀 파이의 두가지 류동체리론에 따라 전자들과 양성자들로 이루어진다. 전자와 양성자들이 존재하는것은 듀 파이의 리론이 더 옳다는것을 보여준다.

# 전기력학

새로운 전기력학분야를 가져온 프랑스의 수학자이며 물리학자인 앙드레 마리 암페아(1775－1836년)는 빛과 라지오파의 현대적인 리해와 전신기의 개발을 가져오게 한 전기와 자기사이의 수학적관계를 묘사한 첫 사람이였다.

전기력학에 대한 연구에서 암페아를 도와준 사람은 프랑스의 과학자이며 후에 천문학교수로 된 펠릭스 싸바르(1791－1841년)였다. 단마르크의 물리학자인 한스 크리스티안 외르스테드(1777－1851년)는 전류가 흐르는 도선은 자화된 라침판바늘을 편기시킨다는것을 보여주었다. 프랑스의 물리학자이며 천문학자인 프랑쑤아 아라고(1786－1853년)도 전기에 대한 연구에 관심을 돌렸다.

## 전기와 자기

라침판은 중국사람에 의해 발명되였는데 그는 11세기초에 배들을 안내하기 위한 라침판들로서 자연적으로 생겨나는 자기물질인 천연자석을 리용하였다. 그러나 19세기 이전까지는 자연적으로 생겨나는 철이나 천연자석만이 자화된다고 생각하고있었다.

이런 생각은 1820년에 달라졌다. 그 시기 단마르크의 물리학자인 한스 크리스티안 외르스테드는 자기 집에서 동무들과 대학생들을 위한 련속적인 과학실험들을 하고있었다. 우선 그는 전류가 금속선을 가열시키는 원인으로 된다는것을 보여주었다. 그는 또한 자기작용을 보여줄 계획을 세우고 나무받침대우에 설치한 라침판바늘을 얻었다. 가열실험을 하면서 외르스테드는 전류가 커지는

전체 시간동안에 자침이 움직였다는데 주목하였다. 외르스테드는 금속선에서의 전류는 자침의 편기를 일으킨다는것을 발견하였던것이다. 이 실험은 전류와 자기사이에 련관이 있다는것을 처음으로 보여준 실험이였다. 프랑스의 물리학자이며 천문학자인 프랑쑤아 아라고는 1820년 9월 4일 빠리에 있는 프랑스 과학원회의에서 외르스테드의 발견을 보고하였다. 아라고는 외르스테드의 실험을 반복하고 전기와 자기사이의 관계에 대한 자기의 연구를 시작하였다. 꼭 일주일후에 아라고는 원형라선동선을 따라 흐르는 전류는 마치도 자석과 같이 철가루를 끌어당긴다는것을 보여주었다. 전류가 끊어지자마자 곧 철가루들은 동선에서 떨어졌다. 아라고의 실험은 권선을 통하여 흐르는 전류에 의해 동작하는 첫 전자석의 리용이였다.

## 암페아와 비오 그리고 싸바르

빠리에 있는 기술종합대학의 교수인 물리학자인 앙드레 암페아는 외르스테드의 연구에 대한 아라고의 보고에 매혹되였다.

암페아는 비록 수학교수였지만 그는 형이상학, 물리학 그리고 화학을 포함하는 여러가지 넓은 론제들을 연구하였다. 암페아는 외르스테드의 실험들을 반복하고 확장하며 전기와 자기사이의 관계를 묘사하는 수학적법칙들을 발견하기 위하여 노력하였다.

암페아는 규칙적인 실험학자로는 인정되지 못하였다. 오히려 그는 실험으로부터 나오는 론리적결론들을 얻어내려고 애쓰는 통찰력있는 과학자로 알려져있다. 몇주일안에 암페아는 프랑스과학원에 여러가지 전기적 및 자기적효과들을 보여주었다.

그는 금속선안에서의 전류가 라침판바늘에 자기적힘을 준다면 전류가 흐르는 두개의 금속선들은 각각 자기마당을 만들며 이 금속선들에 의한 자기마당들은 호상작용하여야 한다는것을 곧 깨달았다. 1820년 9월말 암페아는 이러한 호상작용을 보여주었다.

즉 두개의 평행인 선들을 흐르는 전류들의 방향이 같으면 그것들

은 서로 끌어당기고 전류의 방향이 반대이면 서로 반발한다는것을 보여주었다. 암페아는 자기의 발견에 기초하여 전류의 흐름을 측정하기 위한 검류계라고 불리우는 기구를 설계하고 제작하였다.

간단한 검류계는 라침판주위를 감싼 전도선으로 되여있는 기구이다. 실례로 만일 축전지의 단자들에 련결된 도선에 전류가 흐른다면 그때 도선을 따라 흐르는 전류는 라침판바늘을 편기시키는 자기마당을 만들것이다. 전류가 셀수록 바늘의 편기는 더 심할것이며 따라서 바늘의 위치는 도선안에서 흐르는 전류의 량을 보여준다. 암페아는 검류계를 발명함으로써 그것을 리용하여 도선쌍에 흐르는 전류의 량과 그것들사이의 자기적힘의 세기사이의 관계에 대한 정량적실험들을 수행할수 있었다. 이것의 발명은 전기를 자기와 관련시키는 방정식들을 얻어내는데서 중요하였다.

외르스테드의 발명에 대한 아라고의 보고에 반응하여 쟝 바띠스뜨 비오와 그의 조수 펠릭스 싸바르는 전기에 대한 실험들을 진행하고 1820년 10월에 그 결과들을 과학원에 보고하였다. 이것을 비오－싸바르의 법칙이라고 부르는데 그것은 금속선을 따라 흐르는 전류에 의해 생긴 자기마당의 세기가 금속선으로부터의 거리에 어떻게 관계되는가를 보여주는 법칙이다. 이 시기에 자기마당에 대하여 연구한 다른 프랑스의 실험학자는 씨몽 드니 뿌아쏭인데 그는 전기와 자기를 완전히 분리시켜 취급하였다.

암페아는 자기의 연구를 계속하여 1820년 11월 6일에 과학원에 《전기력학적힘들》에 대한 자기의 법칙을 묘사하였다.

암페아는 다음 몇해동안 싸바르의 도움을 받았다. 싸바르는 많은 실험을 진행하고 암페아가 그 결과들을 집필하도록 도와주었다.

전기와 자기에 대한 암페아의 가장 중요한 출판물인 《순수 실험으로부터 얻어낸 전기력학적현상들의 수학적리론에 대한 보고》는 암페아의 4가지 실험들을 묘사하며 전기력학적힘의 법칙의 수학적유도를 포함하고있다. 거기서 그는 금속선으로부터 임의의 거리에서 자기마당의 세기와 금속선을 따라 흐르는 전류의 세기를 련관시키는 방정식인 암페아의 법칙이라고 부르는 수학적관계식을 얻어냈다. 나아가서 암페아는 라침판바늘의 자연적인 자

화를 설명하려고 하였다. 그는 전류가 만일 고리를 이루면서 흐른다면 자기적인 라침판바늘과 매우 류사한 자석을 이룬다는것을 알게 되였다.

그는 매개 철원자는 원자를 요소자석으로 되게 하는 전류를 포함하고있다고 제기하였다. 철자석안에서 이 모든 원자자석들은 같은 방향으로 정렬되며 그래서 그것들의 자기적힘은 세지는것이다.

암페아의 발견과 아라고의 연구는 곧 실천에 적용되였다. 전류가 흐르는 금속선이 자석을 발생시킨다는것이 발견되자마자 금속선고리들을 많이 겹쳐쌓아 권선으로 만들어 자기적효과를 강하게 하는것은 간단한 문제로 되였다. 곧 전자석이 만들어지게 되였다. 1823년에 윌리암 스터전은 막대기둘레에 동선을 18번 감아서 그 자체의 무게보다 20배나 되는 짐을 들어올릴수 있는 전자석을 만들었다. 1829년에 죠우지프 헨리는 전자석우에 절연선을 리용하여 선들이 단락됨이 없이 가까와지게 하였으며 1831년에는 1t의 철을 들어올릴수 있는 전자석을 보여주었다. 전자석은 장거리통신을 순간에 할수 있는 첫 실험적인 수단인 전신기의 동작을 위한 기초였다. 암페아의 발견은 또한 지구자기마당에 대한 해석을 제공하였다. 한때는 지구자기마당은 지구안에 있는 천연자석에 의해서는 일어날수 없다고 생각하였다. 왜냐하면 천연자석은 높은 온도에서 자성을 잃게 되는데 지구의 온도는 지구안으로 깊이 들어갈수록 높아진다는것이 알려져있었기때문이다. 그런데 암페아의 연구는 지구속에서 흐르는 원전류가 지구자기마당을 만들수 있다는것을 보여주었다.

전기와 자기사이의 련관의 발견은 후날 빛파동과 라지오파를 포함하는 전자기파를 리해하는데서도 기초로 되였다. 1864년에 막스웰은 전기와 라침판들사이의 련계를 맺어주는 공식에는 진공속에서의 빛속도가 포함되여있다는것을 보여주었다.

빛이 전자기현상이라는 사상은 막스웰의 연구로부터 나왔으며 그것은 그후 라지오파의 발견, 19세기 물리학의 발전과 상대성리론을 가져왔다.

이리하여 암페아의 연구는 리론물리와 응용물리학의 넓은 분야의 기초로 되였다. 하여 전류의 기본단위는 전자기 및 전기력학에 공헌한 암페아의 이름을 따서 《암페아》라고 하였다.

# 전자기

마이클 파라데이는 빛, 전기, 자기가 호상관련되여있다고 주장하는 마당론에 대한 믿음을 강하게 주는 실험들을 통하여 자기적힘을 전기적힘으로 전환시켰다.

1825년에 영국왕립협회 연구실험실을 지도하게 된 영국의 과학자인 마이클 파라데이(1791－1867년)와 전기와 자기사이의 련관을 연구한 프랑스과학자인 앙드레 마리 암페아 그리고 전기와 자기사이의 련관을 밝힌 단마르크의 물리학자인 한스 크리스티안 외르스테드가 전자기연구에 공헌하였다.

# 힘마당

19세기초에 열, 빛, 전기와 자기를 연구한 과학자들은 자기들의 몇가지 실험적인 증거물은 이미 알려진 뉴톤과학의 원리에 맞지 않는다는것을 알고있었다. 뉴톤의 고전물리학에 의하면 이러한 현상들은 물체들의 중심들사이의 직선에 따라 작용하는 힘들로서 개별적으로 분리되여 서로 다르게 작용하는것처럼 거동해야 한다. 그러나 후에 진행된 실험들은 이러한 힘들이 어떤 매질을 통하여 작용하는 파동과 같이 나타난다는것을 보여주었다. 이러한 증거에 기초하여 물리학자들은 직접적인 힘들보다는 오히려 힘 《마당》이라는 술어에 대하여 생각하기 시작하였다.

마당론에 대한 믿음은 점점 커졌는데 거기에는 도이췰란드의 자연철학학파의 영향이 크게 작용하였다. 그들은 자연의 통일성은 세계적인 힘이 자연의 유일한 힘이라는데서 나타날것이라고 생각하고있

었다. 도이췰란드자연철학은 도이췰란드에서 학위론문을 쓰고있던 단마르크의 물리학자 한스 크리스티안 외르스테드에게 큰 영향을 주었다. 그는 단마르크로 돌아왔을 때 통일적인 힘에 대한 이러한 믿음을 기꺼이 받아들이고 전기와 자기사이의 련관을 명백히 보여주는 증거를 찾아내려고 애썼다. 1820년에 그는 금속선을 따라 흐르는 전류가 라침판바늘을 편기시킨다는것을 보여주는 실험결과들을 보여주었다.

1822년초에 프랑스의 물리학자 앙드레 암페아는 전류가 흐르는 금속원형권선은 자석과 같이 작용한다는것을 발견하였다. 그는 또한 평행선들을 따라 흐르는 전류는 이 선들에서 전류의 방향에 따라 서로 끌어당기거나 배척한다는것을 발견하였다. 이것은 명백히 전기와 자기는 련관되여있다는것을 보여주었다.

## 통일성에 대한 파라데이의 탐구

우의 실험결과들은 과학적지식을 넓히며 과학적인 실험들을 진행하기 위하여 1799년에 창설된 런던왕립연구소의 두명의 성원들의 호기심을 자아냈다. 연구소의 소장인 함프리 데이비와 그의 조수인 마이클 파라데이는 1820년과 1821년에 외르스테드의 연구를 반복하고 확장하였다.

19세기 가장 위대한 영국의 물리학자로 알려진 마이클 파라데이는 영국동북부의 요크쉬르에서 가난한 대장쟁이의 아들로 태여났었다. 그는 초등교육만을 받았으며 수학을 잘 알지 못하였다. 그러나 10대의 소년시절에 그는 영국백과사전에서 전기에 대한 기사를 읽고 과학자가 되려는 욕망을 가지게 되였다.

1825년까지 그는 왕립연구소 실험실 실장으로 일하였고 가장 사랑받는 교육자였다. 그의 금요일저녁담화와 젊은 청중들을 위한 강의들은 청중 특히 어린이들에게 신비한 힘을 보여주었다. 그의 강의를 들을 때마다 사람들은 놀라움과 기쁨을 금치 못해하였다. 1831년에 파라데이는 외르스테드의 실험과 반대로 자기를 전기

로 전환시키는 가장 유명한 전자기유도현상을 발견하였으며 그 현상들을 설명하기 위하여 구부러진 자기힘선들의 개념을 세웠다. 다음으로 그는 이 현상들을 변화시키고 확장하였는데 가장 유명한 창안품은 발전기의 발명이였다. 그는 말발굽자석의 극사이에서 동원판을 회전시켜 력학적운동을 전기로 전환시킴으로써 련속적으로 흐르는 전기를 얻어냈다. 이 발견은 전체 전력공업의 기초로 되였다. 1833년에 파라데이는 전기와 화학작용사이의 관계를 연구하여 전기화학의 두가지 법칙들을 밝혀냈다.

다음에 그는 훌륭하고 우아한 전기화학적분해리론을 창안하였는데 그것은 그 당시의 사고와 매우 차이나는것이였다. 하여 그는 전기화학에 대한 새로운 술어들인 전극, 양극, 음극, 음이온, 양이온, 전기분해, 전해질을 받아들이게 되였는데 그것들은 지금도 그대로 쓰이고있다.

1838년에 파라데이는 지나친 과로때문에 심한 정신쇠약을 일으켜 5년동안이나 연구사업을 할수 없었다. 그러나 건강을 회복한 후에는 빛과 전기사이의 관계에 대한 실험을 하자는 윌리암 톰슨의 제의에 응하였다. 그 결과에 파라데이는 빛에 대한 자기적힘의 효과 즉 자기광학적회전을 발견할수 있었다. 자기적힘이 유리매질을 통과하여 작용한다는 사실은 파라데이가 물질이 어떻게 자기마당속에서 반응하는가를 더 연구하게 하였다. 이 연구는 반자성물질이 있다는것을 보여주었다. 파라데이는 상자성매질에서처럼 자기힘선을 따라 정렬되는것이 아니라 힘선을 가로질러 배렬되는것으로서 자석들에 반응하는 50개이상의 물질들을 찾아내였다. 이것은 파라데이의 다른 발견들보다도 과학자들에게 더 큰 주목을 끌었다.

파라데이의 리론적탐구는 1850년대에 도체 혹은 자석이 자기 주위에 응력 즉 힘마당을 일으킨다는 사상을 이끌어내였다. 이러한 작용의 에네르기는 도체나 자석이 아니라 매질안에 놓여있었다. 파라데이는 우주가 힘선들의 그물로 조밀하게 뒤덮여있으며 그것들은 진동할수 있고 따라서 가로파들을 전파시킬수 있다는것을 생각하였고 빛도 가로파라고 생각하였다. 이러한 추측은 뉴톤물리학과 모순되는것이였으나 물리학에서 거대한 의의를 가지는

마당의 리론을 가져다주었다. 왕립연구소에서의 지위에 맞게 파라데이는 전자기현상을 취급하는 일련의 실험들을 진행하고 1821년말과 1822년초에 저서 《전자기의 력사적개요》에서 마당에 대한 현존하는 지식을 개괄하였다. 이 문제에 대한 그러한 개괄은 자연의 힘의 통일성을 찾기 위하여 노력하던 파라데이의 흥미를 더 높여주었다. 1820년대에 그는 전기, 열, 자기사이의 련관을 찾아내기 위한 실험을 진행하였다.

왕립연구소에서 파라데이는 지하실험실을 가지고있었는데 여기서 그는 막대기자석이 전류가 흐르는 선둘레로 회전한다는것을 보여주었으며 원형힘선들이 그 운동경로를 설명해준다고 가정했다. 전자기적회전을 산생시키는 이러한 결과들에 기초하여 파라데이는 여러해에 걸쳐 전기와 자기사이의 련관을 찾아내기 위한 연구를 하게 되였다. 이 과정에 그는 생활력있는 과학적리론은 확고부동한 실험적인 증거에 의거해야 한다는 원칙을 확고히 견지하였다. 그는 40년간 보존한 일지에 자기의 실험연구들을 꼼꼼히 기록하였다. 그것은 재치있고 세심하게 설계된 공개실험들과 강의들로 리론들을 설명하는데서 그의 재능을 보여주는 풍부한 정보원천으로 되였다. 파라데이는 보기 드문 재능으로 자신의 리론을 실험에 기초하여 끊임없이 갱신하였는데 그것은 실험에서 얻은 정보에 기초하여 새로운 지식을 만들어낼수 있게 하였다.

## 실험 또 실험

재능있는 실험가인 파라데이는 1820년대에 전자기학문제를 계속 연구하였다. 1824년에 파라데이는 외르스테드가 전류는 자석에 작용한다는것을 보여준것과 비슷하게 자석은 전류에 작용해야 한다는 생각을 하게 되였다. 왕립연구소에서 파라데이는 많은 직무를 맡고있었으므로 가끔 가다가 이 문제에 대한 연구를 하였다.

1831년 8월부터 11월까지 넉달동안 그는 전자기유도에 대한

실험을 련속 진행하였다. 이 넉달동안 파라데이는 135번의 실험을 진행하여 전기가 자석물질에 의해 유도될수 있다는 자기의 가설을 확증하였다. 그의 첫 성과는 4월말에 얻어졌는데 그때 그는 호상 격리된 두개의 개별적인 철권선들을 쇠고리의 맞은편 근방에 배치하고 이 쇠고리우에 라침판을 매달아놓았다.

다음에 그는 하나의 철권선에 전류를 흘리고 쇠고리에 대하여 두번째 권선에서 유도된 전류를 검출하였다. 자침은 진동하였다.

이 실험적근거는 전기가 자기와 관련되여있다고 생각한 그의 오래동안의 믿음을 확증하였다. 즉 두 권선이 자성물질로 련결될 때 하나의 권선에서 전류의 흐름은 다른쪽 권선에 전류를 발생시켰던것이다. 이 실험은 많은 기대를 확증한 동시에 하나의 놀라운 결과를 가져왔다. 파라데이는 두번째 권선에서 유도전류가 련속적으로 흐를것이라고 생각하였는데 그 흐름은 순간적이였다는것을 발견하였다. 즉 그는 련속적인 흐름이 아니라 임풀스전류를 얻었다. 1831년 8월의 실험은 그에게 전자기유도가 사실이라는것을 믿게 하였다. 그는 자기의 첫 연구결과에 기초하여 다음 몇달동안 몇번 더 실험을 해보았다. 1831년 10월 중순 그는 원통형라선의 안과 밖으로 자석을 운동시킴으로써 자석자체로부터 직접 전류를 얻었다. 이러한 성과를 얻을수 있은 비결은 마당이 힘선으로 이루어져있다는데 대한 그의 확고한 믿음에 있었다. 즉 련속적인 전류는 도체가 힘선들을 자르면서 자기마당속에서 움직일 때에만 생겨났다. 1831년 10월말에 진행한 실험은 이것을 확증하였다.

즉 파라데이는 강력한 전자석의 극들사이에서 동원판을 회전시켜 련속적인 전류를 얻었다. 이 결과들은 전기와 자기사이의 힘이 통일적이라고 본 파라데이의 리론을 증명하는데 필요한 실험적증거를 그에게 제공하였다. 1831년 11월 24일에 그는 이 발견들을 《전기에 대한 실험적연구들》이라는 제목을 단 련속론문으로 왕립협회에 보냈다. 여기서 그는 전기와 자기마당사이에 호상련관이 있다는것을 보여주었다.

파라데이의 연구는 19세기 물리학에서 매우 중요한것이였으며 그것은 세심하고 철저하게 실험을 하는것이 중요하다는것을 보여주었다.

파라데이는 비록 힘의 본질에 대하여 깊은 확신을 가지고있었지

만 이러한 생각을 실험실에서 검토했으며 실험결과에 기초하여 사건들의 해석을 수정하군 하였다. 그의 과학연구의 터전이고 생활의 거점인 왕립연구소는 거의 40년동안 그에게 계속되는 연구를 위한 장소와 설비들을 제공하였다.

자기의 확정적인 실험들을 창안하는데서 특별한 재능을 가지고있은 덕분에 그는 전자기유도현상을 발견할수 있었으며 훌륭한 방법들로 학자들앞에서 그것을 재치있게 설명할수 있었다. 이렇게 함으로써 마당론이라는 과학의 세계를 창설하였으며 전력공업의 세계를 열어놓았다. 뛰여난 실험적연구의 결과로 파라데이는 새로운 과학적원리를 제시하였는데 그에 기초하여 발전기가 나오게 되였다. 이러한 장치들은 19세기 후반기에 새로운 동력원천으로서 발전기들이나 전동기들을 리용하는 새로운 전기기술의 기초로 되였다. 그의 연구는 또한 자연철학의 통일성원리들을 풍부히 하였으며 전기와 자기 그리고 빛이 호상 련관되여있다는것을 19세기의 많은 물리학자들에게 확신시켰다.

파라데이의 실험적증거들은 뛰여난 영국의 물리학자인 막스웰에게 공간을 전파하는 전자기적힘을 연구하기 위한 기초를 제공하였다. 그 결과로 얻어진 막스웰의 방정식은 마당론의 기초로 되였으며 외르스테드와 파라데이와 같은 실험학자들에 의해 연구된 전자기적힘들의 관찰결과에 대한 통일적인 수학적설명을 제공하였다.

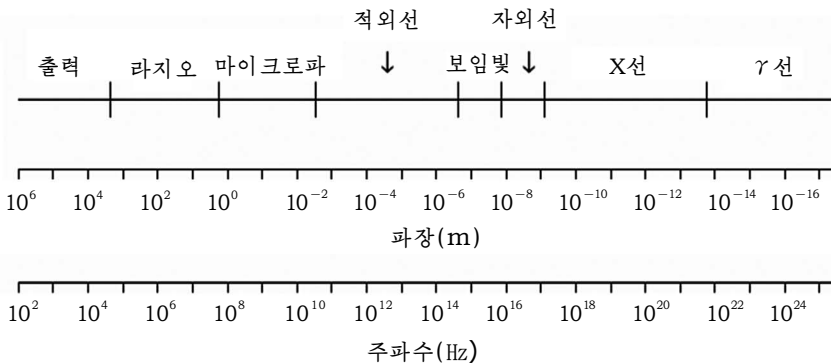



그림 7. 전자기스펙트르

# 전자굴효과

일본의 물리학자 레오 에자끼(1925－)는 전자공학분야에서 혁명을 가져온 발견인 전자계에서의 굴효과를 보여주었다.

노르웨이물리학자인 이봐르 좌이예베르(1929－), 영국물리학자인 브라이안 죠쎕슨(1940－), 미국물리학자인 왈터 브라테인(1902－1987년)이 이에 대한 연구에서 자기들의 뚜렷한 자욱을 남기였다.

# 반도체혁명

전기 및 전자장치들은 전자들에 의하여 열을 발생시키거나 소리파를 만들거나 혹은 기계부분품들을 움직이는것과 같은 일을 수행한다. 빛발브와 같은 간단한 전기장치에서 전기의 흐름은 손스위치에 의해 조종된다. 전자혁명을 일으키기 위해서는 쉽게 말하면 전류를 조종하는데 보다 작고 보다 값이 눅으며 보다 감도가 높은 스위치들을 만들어내야 한다고 생각할수 있다.

1920년대와 1930년대는 두차례의 세계대전들사이의 기간이며 반도체3극소자가 발명되기 전이였다. 그 시기에 스위치는 크기가 작은 빛발브인 진공관안에 들어있는 전자속을 리용하여 만들어졌다. 이러한 장치들은 가열해야 하였으며 상당한 세기의 전류가 흐르는것들이였다. 최초의 콤퓨터는 이러한 기술로 만들어졌으며 옹근 한개 방을 차지하였지만 현대의 휴대용수산기보다도 능력이 훨씬 작았다.

1948년 윌리암 쇼클리, 죤 바딘, 왈터 브라테인에 의한 반도체의 발명은 전자공학을 근본적으로 변화시켰다. 반도체3극소자는

스위치를 만드는데 규소와 같은 반도체들의 특성을 리용하고있다. 반도체는 낮은 에네르기를 가진 전자들은 자유롭게 움직이지 못하지만 높은 에네르기를 가진 전자들은 자유로이 움직이는 물질이다.

그러므로 전압이 어떤 점을 지나 증가할 때 반도체는 전류를 나르게 된다. 이리하여 훨씬 작은 공간과 훨씬 적은 에네르기를 가지고 진공관의 기능들을 다 수행하는 전압－수감용스위치로서 작용한다.

더우기 규소스위치의 감도와 전류를 통과시키는 방향은 불순물을 첨가할 때 아주 세밀하게 변화될수 있다. 그리하여 전혀 새로운 공업이 창설되였다.

레오 에자끼는 원자물리학자로서 국제적인 범위에서 기술적인 연구를 진행하여왔다.

1956년에 레오 에자끼는 도꾜종합대학 박사원 연구생으로 쏘니회사를 위해서도 일하고있었다. 그는 *pn*이음을 가진 반도체 2극소자를 개선하는 방법을 찾고있었다. 규소와 같은 반도체의 절반쪼각에는 규소가 가지고있는것보다 적은 전자들을 가진 불순물을 《첨가》하여 총적으로 양전하를 띠게 하고 다른 절반쪼각은 과잉의 전자들을 가진 불순물들을 첨가하여 총적으로 음전하를 띠게 하면 *pn*이음이 형성된다.

*pn*이음은 현대전자공학의 기초이다. 규소쪼각을 제조하는 과정들은 그 쪼박우에 현미경적령역에서 혼입물들을 선택적으로 끼워넣어 수천개의 *pn*이음들을 형성하는 방법으로 이루어져있다.

에자끼는 규소와 다른 반도체인 게르마니움안에 여러가지 준위의 불순물들을 취급하는 실험을 진행하여 초기에 가능하였던 것보다 훨씬 더 좁고 더 명백한 경계를 가지는 이음들을 산생시키는 반도체들을 도포하는 기술을 개선하였다.

다음으로 그는 이음을 지나는 전류를 전압의 함수로 얻었다.

이음에는 고전물리학리론에서 전자들이 반도체를 지나 흐르기 위하여서는 반드시 넘어가야 한다고 예언한 포텐샬에네르기장벽이 존재한다. 앞서 진행한 실험들은 포텐샬에네르기장벽보다 더 높은 전압준위에서만 전류흐름을 보여주었으나 혼입물을 많이 넣은 게르마니움결정에서 전류는 에네르기장벽보다 낮은 준위에서도 흐르

는것이였다.

에자끼는 이것이 굴효과의 결과라는것을 보여주었다.

량자력학에 의해 예언된 포텐샬에네르기장벽을 전자들이 뚫고 지나가는것은 립자성과 파동성을 다 가지는 전자의 2중성과 관련되여있다.

높은 에네르기를 가진 립자는 고전물리학에 의해서는 금지된 령역에서 발견될 일정한 확률을 가진다.

포텐샬에네르기장벽의 령역이 넓은 경우에는 초기실험들에서 그랬던것처럼 장벽을 뚫고 빠져나가는 전자들이 너무 적어서 검출되지 못하였다.

좁은 $pn$이음을 구성할수 있게 만든 개선된 기술에 의해 에자끼는 수학적모형에서 예언되였던 굴효과를 보여주었던것이다.

에자끼와 그의 동료들에 의해 개발된 반도체안에 불순물을 정밀하게 넣는 기술은 현대전자공학의 기초를 이루는 규소쪼각들을 만들기 위한 열쇠로 된다.

에자끼의 《굴2극소자》는 굴효과를 리용하지 않는 반도체3극소자에 비하여 우점과 결함을 다 가지고있다.

굴2극소자는 콤퓨터에서 3극소자들과 함께 리용되며 그것들은 특히 라지오망원경에서 리용되는것과 같은 감도가 좋은 마이크로파검출기들에서 특히 유용하다는것이 밝혀졌다.

반도체에서의 $pn$이음을 지나가는 전자의 굴효과가 확증된것은 다른 분야에서의 연구를 자극하였다.

에자끼와 함께 1973년에 노벨물리학상을 공동으로 받은 브라이안 죠셉슨과 이바르 좌이예베르의 연구는 초전도체들에서의 굴효과와 관련되여있다.

규소혁명은 제조업, 통신, 정보처리를 근본적으로 변경시켰으며 전기에 의해 수행할수 있는 모든 일을 보다 능률적으로, 경제적으로 수행할수 있게 하였다.

규소혁명은 전세계에 퍼져 세계의 모습을 변화시켰다.

# 전자

영국의 물리학자이며 캐븐디쉬연구소 책임자로서 1906년의 노벨물리학상수상자인 죠우지프 죤 톰슨에 의한 전자의 발견은 음극선의 본성을 설명했고 기체속에서의 전류와 관련한 문제들에 대한 설명을 주었으며 원자의 구조를 리해하는 길을 열어놓았다.

안개함을 개발했고 1927년에 콤프톤과 함께 노벨물리학상을 공동으로 받은 영국의 물리학자인 챨즈 톰슨 리스 윌슨(1869－1959년)과 X선을 발견한 도이췰란드의 물리학자이며 1901년의 노벨물리학상수상자인 윌헬름 콘라드 렌트겐(1845－1923년) 그리고 마쟈르태생으로서 도이췰란드에서 교육을 받은 물리학자이며 1905년 노벨물리학상수상자인 필리프 레나르드(1862－1947년)가 전자에 대한 연구로 자기의 자욱을 남기였다.

## 음극선의 본성은?

1873년에 출판된 전기와 자기에 대한 론문에서 막스웰은 전하와 매질의 본성을 리해하기 위하여서는 기체속에서의 전기방전에 포함되여있는 복잡한 과정들을 연구할 필요가 있다는것을 강조하였다.

1879년에 크룩스관을 발명하고 전기방전이 일어나는 빈 유리관에 있는 음극으로부터 나오는 복사를 처음으로 관찰한 영국의 화학자 윌리암 크룩스는 이상한 선들의 본성에 대한 광범한 연구결과를 발표하였다.

특히 크룩스는 음극선들이 그림자를 던지며 자기마당에 의해 구부러진다는데 주의를 돌리였다. 그는 그것들이 립자들로 이루어져

있다는 결론을 내리였다.

헤르만 헬름홀쯔에 의한 예언에 따라 베를린의 유겐 골드스타인은 음극선을 구체적으로 연구하고 1880년에 영국철학잡지에 인상적인 론문을 냈는데 론문에서는 이 선들이 일종의 파동이라는것을 확고히 주장하였다. 이리하여 1880년에 음극선의 본성과 관련된 서로 다른 견해가 가장 중요한 문제로 되였다. 크룩스와 영국의 주요물리학자들은 음극선들이 전기를 띤 립자들로 구성되여있다고 생각하였으며 하인리흐 헤르쯔가 이끈 도이췰란드의 물리학자들은 그것이 파동이라고 확고히 믿고있었다.

1883년에 헤르쯔는 방전관밖에 자기마당을 걸어주면 음극선들을 구부러지게 할수 있다는것을 발견하였다. 그는 자기마당과 관안에서의 방전방향 즉 그안에서 전류분포를 결정할수 있는 두개의 평판유리판들사이의 관계를 결정하려고 시도하였으나 이렇다할 련관을 찾아내지 못하였다. 헤르쯔는 240V까지 올릴수 있는 축전지들에 련결한 평행인 전도성판대기들을 거쳐 유리관의 안과 밖에 정전기마당들을 걸어주었다. 그는 음극선들이 대전립자들로 이루어져있다면 정전기마당은 그 선들의 방향에 수직인 힘을 줄것이며 그것들은 편기될것이라고 가정하였다. 그러나 두 경우에서 그는 아무런 결과도 얻지 못하였다.

그의 오래동안의 거듭되는 실험들은 그가 출발한 기본전제 즉 음극선들은 립자가 아니라 파동이라는것을 확증하는것 같이 보이였다.

그의 제자인 필리프 레나르드는 음극선들을 조종하기 위하여 초기에 진행한 관밖에서의 음극선들의 특성들에 주의를 돌리면서 음극선들에 대한 연구를 계속하였다. 그는 관밖으로 나온 음극선들이 매질을 이루는 공기를 전도성매질로 만들며 사진건판들을 검게 만든다는것을 보여주었다. 더우기 그것들이 날아간 거리는 매질의 화학적성질이 아니라 매질의 단위면적당 무게에 의존하며 자기적편향은 관안의 기체에 의존하지 않는다. 헤르쯔와 마찬가지로 레나르드는 그것이 파동현상이라고 생각하였다.

1895년에 쟝 바띠스뜨 빼랭은 개선된 장치를 리용하여 크룩스의 실험을 되풀이하여 음극선들로부터 나오는 음으로 대전된 립자

들을 절연된 금속그릇안에 모으는데 성공하였다.

이 결과들은 음극선이 파동이라는데 대하여 의심을 던져주었다. 결국 1895년말에 전하의 본질에 관한 서로 다른 견해들이 물리학자들속에서 류행되고있었다.

한 집단은 그것을 많은 수의 《전기분자들》 혹은 전자들로 이루어진 류체들의 한 부분이라고 생각하였으며 다른 집단은 전하는 에테르안에 있는 알려지지 않은 응력의 결과이며 물질에 부딪치면 눈으로 볼수 있게 된다고 생각하였다.

음극선들의 본성은 풀리지 않은채로 남아있었다.

## X선으로부터 전자에로

1895년에 우르쯔부르그종합대학에서 공기를 뺀 크룩스관안의 유도권선에 의해 생겨나는 방전을 연구하는 과정에 윌헬름 콘라드 렌트겐은 우연히 X선을 발견하게 되였는데 그것은 음극선들이 백금표적을 때릴 때 생겨났다.

X선들은 물질을 침투할수 있으며 기체매질을 이온화시키며 전도성을 띠게 한다는것을 알게 되였다.

X선의 이러한 특성은 기체속에서의 전도성연구를 촉진시켰다. 톰슨이 X선의 이러한 성질을 리용한것은 그가 전자를 발견하게 한 주되는 동기로 되였다.

음극선들의 본성에 대한 론쟁을 풀어볼 생각으로 톰슨은 전하들을 수집하고 그것을 측정하는데서 약간의 변경을 가한 다음 뻬랭의 실험을 되풀이하였다.

음극선들을 구부리는 자기마당을 리용하여 그는 직선으로부터 편기된 곳에 있는 공기를 뺀 금속고뿌안에 그것들을 수집하였다.

그는 고뿌안에서 전하는 최대값에 이른 후에 변하지 않는 상태에 도달한다는것을 발견하였으며 그것을 그는 주위공간에로의 루설때문에 일어난다고 옳게 설명하였다.

헤르쯔는 음극선들을 전기마당에 의하여 기울어지게 하지 못하였다.

톰슨은 관안의 음극선들사이에 두개의 전도성판대기들을 배치하고 그 판대기들사이에 정전기마당을 걸어주어 헤르쯔가 한것에 비하여 훨씬 좋은 진공기술을 리용하여 음극선들의 편기를 관찰할수 있었는데 그 편기가 음으로 대전된 립자들과 같다는것을 보여주었다. 그는 음극선들의 전기적편기를 관찰하는데서 헤르쯔가 실패한것은 관안에 너무 많은 기체가 있어서 그것들을 이온화하기때문에 일어난것이라고 정확히 설명하였다. 그것은 음극선을 편기시키도록 하려고 한 바로 그 마당으로부터 그것들을 차폐시키는것이였다.

음극선들에 전기마당과 자기마당을 동시에 걸어주어 톰슨은 음극선립자들의 속도 $v$를 얻어냈다.

립자들이 전하 $e$를 나르며 질량 $m$을 가진다고 가정하고 톰슨은 비전하 즉 $e/m$을 얻어내는데 성공하였는데 그것은 수소원자들에 대한 해당한 값의 1 700배라는것을 보여주었다.

나아가서 상수 $e/m$의 값이 속도 $v$, 리용되는 전극의 종류, 음극선관안의 기체의 종류에 관계되지 않는다는것을 보여주었다.

챨즈 톰슨 리스 윌슨이 새롭게 개발한 《안개함》을 리용하여 톰슨은 전하의 값을 얻을수 있었다.

비 $e/m$으로부터 $m$의 수값을 계산하는것은 간단하였다. 때문에 상대적으로 큰 속도를 가진 음극선립자들이 작은 질량을 가진다는것은 역시 헤르쯔의 관찰 즉 음극선들이 얇은 금속판들을 침투한다는것을 설명했다.

무거운 립자들은 그렇게 할수 없다는것이 명백하였다.

톰슨은 곧 자기가 방사성물질들, 자외선의 폭격을 받은 알카리금속들 그리고 여러가지 기체방전현상들에서 발견된 원자들의 구성부분을 발견하였다는것을 알게 되였다.

음극선립자들이 모든 물질의 구조를 리해하는데서 보편적이고 기초적이라는 톰슨의 발견은 기체들의 전도의 수수께끼적인 측면, 전기의 본질 그리고 음극선이 파동인가 립자인가 하는 론쟁을 해결하였다.

# 립자물리학의 출현

1897년 4월 30일 영국왕립연구소에서 한 강의에서 톰슨은 음극선에 대한 자기의 발견을 처음으로 공개적으로 설명하였다. 전자의 질량에 대한 톰슨의 결론을 물리학자들은 완전히 새로운것으로 보지 않았다. 그러나 물리학자들은 톰슨의 결과들의 뜻을 점차 인식하기 시작하였다.

사실 월터 코프먼 등도 독립적으로 실험에서 이와 류사한 결론을 이끌어내기는 하였으나 그들은 이러한 대전립자의 존재를 부인하였기때문에 전자의 발견자로 될수 없었다.

톰슨은 2년안으로 다른 실험들에서 자기의 이 발견들을 증명하였다. 그는 후날 응축작용을 통하여 작은 액체방울들안에 있는 매개 전하를 포획하는 방법으로 전자의 전하값을 측정하였다. 그는 전체 전하와 개별적전하들의 크기를 알았기때문에 매개 전하의 값을 계산할수 있었다. 그러나 그 리론에는 몇가지 결함이 남아있었는데 이것은 다른 물리학자들에 의하여 메꾸어졌다.

그들은 톰슨이 전자의 발견을 주장하는데 필요한것들을 제공하여주었다.

1899년에 톰슨은 원자가 바깥에 음으로 대전된 립자들로 둘러싸여있다는 견해를 발표하였다.

1904년까지 그는 이 원자모형을 더욱더 발전시켰다. 이 모형에 의하면 전자들은 원자를 둘러싸는 중심원들을 따라 가속운동한다. 안쪽고리에는 제일 적은 수의 전자가 있고 바깥쪽으로 나가면서 전자의 수는 점점 많아진다.

미립자물리학과 핵물리학은 이 순간부터 시작되였다고 말할수 있으며 톰슨의 모든 연구는 일정한 범위에서 여기에 공헌하였다.

전자의 발견후 톰슨은 나머지기간의 대부분의 연구를 《양전기》의 본질을 해명하는데 바치였다.

이 현상은 월헬름 윈도 함께 연구하였다. 1913년에 이르러 톰슨은 양전하를 분석하는데 충분히 감도가 높은 기구를 개발하였다. 이 연구로 하여 톰슨은 동위원소들을 분리시킨 첫 과학자들중의 한 사람으로 되였다. 톰슨이 전자를 발견하고 그것이 전하의 기본단위를 이루며 모든 원자들의 성분이라는 인식을 하게 된 결과에 원자에 대한 연구가 새로운 활기를 띠기 시작하였다.

음극선들의 립자적본성을 확증하는 결과들은 유럽의 다른 지역들에서도 얻어졌다. 실례로 피터 제만이 나트리움 스펙트르에서 D선이 넓어지는것을 관찰한 결과는 자기마당속에서 원자들의 전자배치가 변하기때문에 생겨난다는 리론에 의해 설명되는데 거기서 얻은 $e/m$의 값은 톰슨이 얻은 값과 비슷하였다.

전자의 발견과 정전기힘의 영향하에서의 전자들의 력학적안정성에 대한 연구에 기초하여 톰슨은 전자들이 공중심원들에 속박되여있으면서 원자의 중심주위로 회전해야 한다는것을 보여주었다.

음극선립자들은 《미립자》라고 부르고 그것들의 수가 임의의 주어진 원소의 원자무게에 비례하여 증가한다고 가정하면서 톰슨은 화학원소들의 구조와 그것들의 특성을 설명하려고 시도하였다. 이 초기모형으로부터 그는 몇가지 중요한 결론을 얻었다.

첫째로 전자들은 원자의 중심둘레의 원들을 따라 움직일 때 가속운동하기때문에 그것들은 복사할것이다. 그러므로 전자들의 수 $n$이 원자의 질량의 1천배정도일것이라고 가정하면 이러한 전자들의 배치는 안정할수 없다.

톰슨의 리론을 증명하며 화학원소들의 $n$을 얻기 위하여 진행된 $\alpha$, $\beta$, $\gamma$선들의 산란에 대한 실험적연구는 부정적결론을 가져왔는데 이것은 어니스트 라더퍼드가 내놓은 원자핵모형의 기초로 되였다.

나아가서 $n$의 크기에 대한 톰슨의 발견은 산란리론의 발전을 촉진하였는데 이것은 원자물리나 핵물리학에서의 앞으로의 연구에서 중요한 역할을 놀았다.

톰슨이 내놓은 원자모형의 불안정성은 량자가설을 정식화하고 원자의 량자준위를 발견하는데 도움을 주었다.

# 전기약한호상작용리론

리론물리학자들에 의하여 예언된 3가지 새로운 립자들의 발견은 전기적호상작용과 약한호상작용들을 통일시키기 위한 증거를 제공하였다.

이딸리아실험물리학자인 까를로 루비아(1934－)와 네데를란드 물리공학자인 시몬 반 데르 메이여(1925－), 미국리론물리학자인 쉘돈 리 글레쇼우(1932－), 파키스탄 리론물리학자 아브두스 쌀람(1926－1996년), 미국리론물리학자인 스티븐 와인버그(1933－)가 이 미지의 세계에 대한 연구에서 이름을 남기였다.

## 강한호상작용과 약한호상작용

20세기 첫 10년동안 물리학자들은 안정한 원자들의 핵들이 어떻게 서로 함께 유지될수 있으며 방사성원자들의 핵들로부터 어떻게 일부 원자들이 방출될수 있는가를 리해하기 위하여서는 잘 알려진 중력이나 전자기적힘외에 추가적인 힘들을 고려할 필요가 있다는것을 인식하게 되였다. 그들은 안정한 핵들을 유지하는 힘을 《강한》힘, 불안정한 원자들의 핵들에서 일부 원자들이 방출되게 하는 힘을 《약한》힘이라고 불렀다.

20세기 중엽까지 리론물리학자들은 잘 알려진 원자들을 구성하는 이미 알려져있는 전자, 양성자 그리고 중성자외에 이전에는 알려지지 않았던 많은 소립자들을 발견하였다.

이러한 새로운 립자들을 발견하는데는 보통 대단히 크고 출력이

높으며 값이 비싼 립자가속장치를 리용해야 하였는데 이러한 가속장치에 의하여 전자나 양성자들이 높은 속도를 가지고 표적물들을 깨뜨리게 된다.

한편 리론물리학자들은 새로운 립자들의 목록을 작성하면서 어떻게 강한힘들과 약한힘들을 이미 알려져있는 전자기호상작용과 통합시킬수 있겠는가를 리해하려고 시도하면서 그 연구를 꾸준히 진행하고있었다.

19세기에 자기적힘들은 움직이는 전하 혹은 전류에 의해 발생된다는 인식을 통하여 전기적힘과 자기적힘들이 통합되였다는것을 고려하면서 리론물리학자들은 새로운 형태의 힘들에 대하여 그와 같은 원리들을 찾아내는데 힘을 넣었다.

뉴톤은 하나의 중력리론이 태양둘레에로의 행성들의 운동과 사과와 같은 지구가까이에 있는 물체들이 지구에 떨어지는 운동을 다 설명할수 있다는것을 이미 오래전에 보여주었던것이다.

1960년대와 1970년대에 많은 리론물리학자들은 전자기힘과 약한힘을 통합하려는 목적을 이루기 위한 연구를 진행하고있었다.

3명의 학자들인 쉘돈 리 글레쇼우, 아브두스 쌀람과 스티븐 와인버그는 이 연구에서 중요한 전진을 이룩하였다. 그들은 공동으로 연구하지는 않았으나 연구결과들을 공개했으므로 각자의 연구내용을 잘 알고있었다.

그들이 이룩한 진보는 주로 《게이지리론》으로 알려진 새로운 수학적인 방법을 통하여 이루어졌다. 1979년에 그들은 《원소립자》들사이의 통일적인 약한 및 전자기적호상작용리론에 대한 공헌으로 노벨물리학상을 공동으로 받았다.

그들이 연구한 중요한 내용은 《보존》이라고 불리우는 3가지 새로운 립자들을 예언한것이였는데 그 립자들은 $w^+$, $w^-$, $z^0$이라고 표시하였다. $w$립자들은 둘다 양성자질량의 약 80배와 같은 질량을 가져야 하지만 하나는 양전하, 다른 하나는 음전하를 나른다고 예언하였다. 양성자질량의 90배인 보다 무거운 $z$립자는 그 어떤

전기도 띠지 않는다. 모든 가속기실험들은 새로 예언된 이 립자들을 이미 찾고있었다. 특히 핵연구유럽집단은 이러한 탐색에 주목을 집중하였다. 이 국제적연구중심은 프랑스와 스위스사이의 국경 제네바가까이에 위치하고있으며 12개이상의 유럽국가들의 자금으로 운영되고있었다.

1976년에 이 집단의 조별 책임자인 까를로 루비아는 용기안에서 서로 반대방향으로 날아가는 양성자들과 반양성자들의 묶음을 서로 충돌시키는 실험들을 설계하였다.

자연적으로는 존재하지 않는 반양성자들은 음전하를 가지지만 보다 잘 알려져있으며 자연적으로 존재하는 양으로 대전된 양성자들과 같은 질량을 가진다.

양성자와 반양성자들은 서로 반대부호로 대전되여있으므로 자기마당을 가속장치에 걸어주면 그것들은 반대방향으로 운동하게 된다. 그러나 이러한 실험을 하는것은 어려운 일이였다. 과연 그것을 실현할수 있겠는가 하는 의혹도 생겼다.

하지만 루비아는 자기가 제안한 실험을 진행하기 위하여 책임자들을 납득시켜 당시의 장치를 다시 설계하려고 하였다. 그리하여 1978년에 그들의 찬동을 받았다.

루비아의 제안을 성공시키는데서 주되는 요소는 몇해전에 시몬 반 데르 메이여가 발명한 《우연적랭각》이였다. 우연적랭각은 인공적으로 얻어진 많은 수의 반양성자들의 충돌수를 크게 할수 있는 묶음으로 농축하여 $w$립자와 $z$립자들을 관찰할수 있게 하였다.

또한 충돌결과에 매우 큰 질량을 가지는 $w$, $z$립자들이 생겨나게 하자면 매우 높은 에네르기를 가진 립자들이 충돌하게 하여야 했다. 다시말하여 실험에 리용되는 에네르기는 아인슈타인의 질량－에네르기관계식 $E=mc^2$에 따라 $w$와 $z$립자들로 전환될수 있어야 한다.

랭각묶음실험의 실현과 관련한 중요한 문제는 $w$립자와 $z$립자들이 생겨난다고 하면 그것들을 어떻게 검출하겠는가 하는것이

였다. 이러한 가능성을 실현할수 있는 두개의 장치들이 1981년에 가동하기 시작하였다. 수백명의 과학자들과 공학자들을 포함하는 연구는 초조한 기대속에서 진행되였다. 1983년에 이르러 루비아와 연구집단은 적은 수의 $w$, $z$립자들을 검출할수 있었다.

연구결과들은 즉시에 물리학자들의 큰 주목을 끌었다.

1984년에 루비아는 실험의 사상을 내놓은것으로 하여, 반 데르 메이여는 실험을 가능하게 한것으로 하여 노벨물리학상을 공동으로 수여받았다.

이 커다란 성과는 리론물리학자들속에서 새로운 확신을 가져왔으며 앞으로의 연구를 위한 단계를 설정하였다.

그러한 기본힘들을 더욱더 통일시키기 위한 연구는 계속되고 있다. 현대물리학의 두가지 측면들이 루비아와 반 데르 메이여의 결과들에서 실증되였다.

즉 리론과 실험사이의 호상관계와 함께 자연의 힘들에 대한 현재의 리해는 이러한 힘들을 통일시키는 원리들을 검출함으로써 전진할수 있다는 확신이다. 대통일리론의 연구는 소립자물리학자들에게 피할수 없고 리해하기 힘든것들중의 하나로 남아있다.

# 대통일리론을 향하여

뉴톤이 중력을 확정한 때로부터 지금까지 자연의 모든 힘들은 리론적으로 통일되는 경향을 가지고있었다. 전기와 자기는 벌써 20세기초에 같은 힘으로 련관되여있다는것이 발견되였다. 그 시기 중력과 전자기힘들외에 두가지 힘들인 원자핵들의 《강한》힘과 《약한》힘들이 더 발견되였다.

전자기힘이나 중력들은 상대적으로 먼거리에서도 작용하지만 그와는 달리 강한호상작용과 약한호상작용은 원자의 직경만한 거리에서만 작용한다. 강한힘은 개별적인 핵자들을 서로 유지하게 하며

약한힘은 $\beta$붕괴를 통하여 핵자체의 붕괴를 일으킨다. 뉴트리노라고 불리우는 원자보다 작은 립자들은 원자안에서 반응하며 일부 핵반응에 관여한다. 뉴트리노들은 비록 질량에 의하여 반응하는 것은 아니지만 약한호상작용을 통하여 다른 소립자들과 호상작용한다. 지구에 영향을 주는 대다수의 뉴트리노들은 열핵반응이 일어나는 태양의 중심에서 발생한다.

쉘돈 글레쇼우, 아브두스 쌀람, 스티븐 와인버그에 의해서 제기된 리론을 전기약한리론이라고 부른다. 그것은 전자기적(큰)힘과 약한(작은)힘의 호상작용을 처음으로 상세히 설명하였다.

또한 뉴트리노와 전자가 같은 족에 속하는 립자들이라는것을 밝혔다. 결국 뉴트리노는 전자의 《동생》이다. 리론은 《중성흐름》이라고 하는것이 있다는것을 예언하였다.

전자가 뉴트리노로 변화되거나 반대로 뉴트리노가 전자로 변화될 때 리론은 《대전흐름》이 전하의 변화에 앞서서 나타난다는 것을 예언한다.

동시에 《중성흐름》은 뉴트리노가 전자와의 동일성을 변화시키지 않을 때 존재한다.

모든 힘들을 간단히 하나의 수학적인 리론으로 통일시키는것은 물리학자들의 꿈이였다.

전기약한호상작용리론이 나옴으로써 대통일리론의 발견이 한걸음 앞당겨졌다.

# 파울리의 금지원리

월프강 파울리의 금지원리는 한개이상의 전자가 동시에 원자안에서 같은 량자상태에 있을수 없다는것을 보여준다. 닐스 보르, 네데를란드의 물리학자인 사무엘 가우드스미트(1902－1978년), 오스트리아출신의 물리학자인 월프강 파울리(1900－1958년), 네데를란드물리학자인 죠지 울렌베크(1900－1988년)가 이에 대한 연구에서 지울수 없는 흔적을 남기였다.

# 새로운 원자모형을 찾아

1900년대초에 원자의 구조에 대한 사상에서 혁명적인 변화가 일어났다. 도이췰란드의 물리학자 플랑크가 빛이 량자라고 불리우는 덩어리로써만 물질에 의해 복사되거나 흡수될수 있다는것을 제기하였던것이다. 실험실에서의 실험에 기초하여 영국의 물리학자 라더퍼드는 조밀하고 양으로 대전된 핵둘레를 음으로 대전된 전자들이 돌고있다는 원자의 행성계모형을 제기하였다.

단마르크의 물리학자 보르는 이러한 제안들을 수소원자에 대한 새로운 모형을 만드는데 리용하였다.

수소와 같은 기체들은 가열될 때 빛스펙트르를 내보낸다. 스펙트르는 일정한 파장 혹은 색갈의 예리한 선계렬들로 구성되여있다.

보르의 생각에 의하면 원자에서 전자는 다만 핵으로부터 일정한 거리들에서만 자리길을 따라 돌수 있다. 이 거리들은 전자의 에네르기에 의해 결정된다. 전자는 높은 자리길로부터 낮은 자리길에로 빛에네르기량자를 내보내면서 이동할수 있는데 그것이 스펙트르

선으로 나타난다. 전자는 빛량자를 흡수함으로써 보다 높은 자리길에로 올라갈수 있다. 보르는 3개의 량자수들을 설정하여 매개 전자가 돌아가는데 요구되는 에네르기를 묘사하였다.

그러나 원자의 이러한 《량자리론》은 한개이상의 전자를 가진 원자들의 거동을 설명하려고 할 때 난관에 부딪치게 되였다.

월프강 파울리는 원자의 구조에 흥미를 가진 정열에 넘치는 젊은 물리학자였다.

1925년에 도이췰란드의 함브르그종합대학에서 파울리는 금지원리를 제기하였는데 그것은 모든 원소들에 대하여 수소원자에 대한 보르의 리론을 확장한 원리였다.

1922년에 파울리는 원소주기계에 대한 보르의 강의를 들으면서 행성계모형을 수소가 아닌 다른 원소들의 원자에 적용하는데서 나타나게 되는 문제점을 인식하게 되였다.

수소원자에서 전자들은 원자가 외부로부터 에네르기를 받지 않는 한 가장 낮은 에네르기상태에 존재하며 다른 원자들에서도 역시 전자들은 가장 낮은 에네르기상태를 차지한다.

전자들이 가장 낮은 상태에 꽉 차있다는 보르의 모형에 의하면 헬리움으로부터 우라니움에 이르기까지 원자들은 보다 작아지게 된다.

그리하여 원자에서 전자들을 떼내여 원자를 이온으로 되게 하는것이 더욱더 힘들어지게 된다.

그러나 헬리움, 네온, 아르곤과 같은 불활성기체들은 쉽게 이온을 형성하지 않는 대단히 큰 원자들로 이루어져있었다. 더우기 원소들은 개별적인 화학족들에 속한다. 즉 보다 더 많은 전자들을 가지고있는 이러한 원소들은 보다 적은 전자들을 가진 원소들보다 더 쉽게 이온을 형성한다.

보르는 자기의 모형이 이러한 현상들을 설명할수 없다는것을 인정하였다.

그러나 파울리에게는 가장 낮은 자리길 혹은 에네르기상태에 모든 전자들이 꽉 차는것을 방해하는 그 어떤 원리가 존재한다는것이 명백해졌다.

# 이상제만효과를 설명하다

파울리는 삐떼르 제만이 1892년에 처음으로 발견한 제만효과즉 강한 자기마당을 가열된 기체에 걸어주었을 때 일어나는 스펙트르선의 분할을 설명하려고 하는 과정에 중요한 실마리를 얻게 되였다.

다른 하나의 실마리는 원소들의 화학적성질로부터 얻어지게 되였다. 그것은 전자들이 원자에서 서로 다른 각들에 존재하며 각들이 닫기는것은 원소주기계의 원소의 배렬과 관련되여있다는 생각이였다.

파울리는 각들의 닫김과 스펙트르선들의 분할은 서로 련관되여있다고 생각하였다. 그는 원자스펙트르연구를 계속하였다.

1924년에 량자리론의 발전은 마지막실마리를 제공하였다. 주량자수의 값이 불활성기체들의 닫긴각안에 있는 전자들의 수와 대응된다는것이 발견되였다.

파울리는 원자안에서 전자의 에네르기준위를 묘사하자면 네번째 량자수가 필요하다는것을 인식했다. 두개 전자들만이 같은 에네르기준위에 남아있을수 있고 다른 전자들은 같은 준위에 있을수 없다.

이와 같은 시기에 네데를란드물리학자 가우드스미트와 울렌베크는 스펙트르선들이 갈라지는것은 전자가 핵둘레를 도는것처럼 자기축주위로 시계바늘과 반대방향으로 도는 전자스핀에 의해 일어나게 된다는것을 제기하였다. 려기된 에네르기준위에 서로 반대방향스핀을 가진 두개의 전자들이 허용된다면 보다 낮은 상태에로 그것들이 넘어가는것이 제만효과로 관찰된다.

파울리의 네번째 량자수는 전자의 스핀과 관련된다. 매 에네르기준위안에서 두개의 전자들은 반대방향의 스핀을 가진다. 후에 량자리론의 개선으로 파울리의 원리는 흔히 다음과 같이 정식화되였다. 즉 원자에서 4개의 량자수로 표시되는 하나의 상태에는 오직

한개 전자만이 있다.

파울리는 원자의 량자리론에 대한 공헌으로 하여 1945년에 노벨물리학상을 받았다.

그의 연구는 보르의 리론을 확장하여 수소만이 아닌 모든 원자들을 포함시킬수 있게 하였다. 그것은 모든 원소들의 스펙트르 및 화학적속성을 설명했으며 현대화학에서 량자화학적방법의 기초를 이루고있다.

파울리의 금지원리는 원자안에서 두개이상의 전자들이 동시에 같은 에네르기준위를 차지할수 없다는것을 말해준다. 이 개념은 과학자들에게 수소로부터 우라니움에 이르기까지의 원자들의 모형을 만들 가능성을 제공하였다. 원자의 크기가 설명되였으며 원자들이 쉽게 이온을 형성할수 있다는것을 예언하였다.

이미 오래전에 원자들의 화학적특성들이 관찰되였으며 로씨야의 화학자 멘델레예브에 의해 화학원소들이 분류되였다.

파울리원리는 원자의 전자구조의 한 측면으로서 이러한 화학적특성들을 설명하였다. 스펙트르선들이 갈라지는것은 원자구조의 다른 한 측면에 불과한것이다.

1925년에 파울리가 금지원리를 발표한것은 다음 몇해동안에 걸쳐 량자리론의 발전을 촉진시켰다.

드 브로이에 의한 물질파, 슈뢰딩게르에 의한 파동력학, 파울리와 울렌베크에 의한 량자수와 전자의 스핀과 같은 령역에서의 연구는 결과적으로 결합되여 량자력학분야에로 발전되였다.

이 새로운 리론은 개별적인 원자들의 특성과 원자들의 결합을 설명할수 있게 해주었다.

원소들의 화학적 및 스펙트르특성들이 같은 원자구조의 서로 다른 측면들이라는것을 인식하게 한 파울리의 업적은 현대물리학과 화학의 발전에서 중요한 단계였다.

금지원리에 대한 론문이 발표된 다음 얼마후인 1928년에 파울리는 스위스 쮜리히에 있는 련방기술연구소의 리론물리교수로 되였다.

그는 동무인 쮜리히종합대학 교수인 웬쩰과 함께 대학생들에게 리론물리학을 가르치기도 하였다.

쮜리히에서 파울리는 가장 중요한 리론들중의 하나인 뉴트리노가설을 내놓았다. 1930년에 물리학자 메이트너에게 보낸 편지에서 파울리는 뉴트론이 원자보다 작은 립자들이 붕괴될 때 전자와 함께 복사된다고 하였다. 후에 오토 한과 함께 진행한 메이트너의 연구는 몇가지 새로운 원소들을 찾아냈으며 핵분렬의 발견의 길을 열어놓았다. 페르미가 후에 이 뉴트론을 《뉴트리노》라고 이름붙였지만 그것은 파울리의 이름으로 《파울리노》라고도 불리웠다.

파울리는 채드위크가 원자핵안에서 중성자를 발견하기 전에 뉴트리노를 제기하였다.

이 시기 또한 파울리의 많은 연구는 전자의 전체 에네르기가 무한히 크게 되는것을 설명하기 위한 상대론적량자전기력학의 연구에 바쳐졌다.

이 연구과정에 파울리는 파동력학을 연구하게 되였다.

1933년에 《물리백과사전》에 발표한 론문에서 그는 하나의 립자만이 아니라 수많은 립자들의 호상작용을 포함할수 있게 파동력학의 범위를 확장하였다.

# 물체의 락하

이딸리아의 철학자이며 수학자, 물리학자인 갈릴레이의 과학적실험들과 그가 이끌어낸 결과들 그리고 그가 제기한 개념들은 곧 전통적으로 내려오던 자연에 대한 아리스토텔레스의 견해들을 비판적으로 검토하게 하였으며 뉴톤력학의 기초에 놓이게 되였다.

갈릴레이와 과학자, 기사, 부유한 귀족이며 갈릴레이의 보호자인 귀도발도 마르치즈 델 몬떼(1545－1607년), 이딸리아의 의사이며 갈릴레이가 속해있던 학파의 성원인 싼또리오 싼또리오(1561－1636년), 갈릴레이의 제자이며 그의 첫 전기작가인 윈체쪼비비아니(1622－1703년), 고급한 교육을 받았으며 영향력있는 수도승으로서 갈릴레이가 속해있던 학파의 성원인 빠올로 싸르삐(1552－1623년) 등이 이에 대한 연구로 이름을 남기였다.

# 갈릴레이의 공로

17세기까지 유지되여온 아리스토텔레스의 예언중의 하나는 떨어지는 물체들의 거동과 관련되여있다.

모든 효과들은 원인을 요구한다는 자기의 철학에 의거하여 아리스토텔레스는 모든 운동(효과)은 힘(원인)을 요구하기때문에 물체가 떨어지는것(운동)은 힘(무게 혹은 지금은 우리가 떨어지는 물체의 질량으로 알고있는것)을 요구한다고 하였다.

갈릴레이는 자연을 연구하는 아리스토텔레스의 견해에 의문을 가지고 그에 대한 대답을 찾기 위해 실험을 하기 시작한 첫 사람이였다.

1589년에 그의 벗이며 보호자인 몬떼의 추천으로 삐자종합대학의 수학교수로 지명된 갈릴레이는 그때 진행한 강의내용에 대하여 쓴 책에서 여전히 아리스토텔레스가 제기한 자연적인 운동과 강제적인 운동의 개념을 리용했으나 몇가지 문제들에서 아리스토텔레스가 오유를 범하고있다는것을 증명하였다.

갈릴레이는 현대의 관성에 대한 개념을 낳게 한 무한소의 힘과 《중립운동》이라는 새로운 개념을 받아들였다. 그는 여러가지 매질속에서 떨어지는 물체들을 가지고 진행한 실험들에 대하여 보고하고 상대밀도라는 술어로 문제를 정식화함으로써 아리스토텔레스의 일부 오유를 피할수 있었다.

1590년경에 갈릴레이는 경사진 삐자탑에 올라가 동시에 큰 철알과 작은 구식보총알을 떨어뜨리는 실험을 하였다. 이 두개의 알은 그것들이 서로 다른 시간동안에 땅에 도달할것이라고 한 아리스토텔레스의 예언과는 달리 거의 같은 시간에 땅에 떨어졌다. 갈릴레이 이전에 다른 사람들도 같은 실험을 진행하여 같은 결론에 도달했다.

갈릴레이가 이러한 실험을 자기자신이 직접 했는지는 확실하지 않지만 그 실험으로 하여 아리스토텔레스에 의하여 외곡된 진리를 바로잡았다는것은 확실하였다. 이 공개실험을 반드시 강조해야 하는것은 보다 중요하게는 가설을 확증하기 위하여서는 그것을 실험적으로 증명하는것이 중요하다는것을 강조한것이기때문이였다. 아리스토텔레스는 순수 론리적으로 결론을 얻어냈지만 갈릴레이는 실험에 기초하여 자기의 결론을 이끌어냈던것이다.

경험은 다른 실험들을 더 해야 한다는것을 보여주었다. 어떤 물체들은 공기저항의 결과로서 질량에 따라 가속도가 다르다는것을 고려해야 하였다. 갈릴레이는 약 20년동안 자세히 관찰을 진행한데 기초하여 떨어지는 물체에 대한 다음과 같은 법칙을 밝혀냈다.

…떨어지는 물체는 고르롭게 가속된다. 즉 같은 시간간격동안에 같은 크기의 속도변화를 일으킨다. 그래서 정지상태로부

터 떨어진다면 그것은 2초후에는 1초후에 떨어질 때보다 두배만큼 빨리 떨어지며 3초후에는 1초후에 때보다 3배만큼 빨리 떨어진다. …

갈릴레이는 나아가서 경사면우에서 내려오는 물체들 실례로 수평면에 대하여 고정된 각을 가진 경사면을 굴러내리는 공에 대하여 해당한 시간의 두제곱에 대한 거리의 비는 항상 같다는것을 보여주었다. 그는 또한 물체가 발사되거나 앞으로 던져진 후에 자유롭게 떨어지는 운동 즉 발사체의 자리길을 묘사하였다.

## 포물선자리길

대포알의 비행은 그 자리길을 눈으로 결정하기에는 너무도 빠르지만 갈릴레이의 기록과 그의 총명한 동료들인 귀도발도와 빠올로 싸르삐의 기록에서는 약 1592년에 갈릴레이와 귀도발도가 그 자리길이 포물선이라는것을 증명하였다는것을 보여준다.

그들의 아주 간단한 방법은 놋쇠로 만든 작은 공을 잉크로 칠하고 판대기에 종이장을 고정시키고 그 판대기를 정밀하게 똑바른 상태로 유지하는것이였다. 그다음 공은 종이에 접촉시켜 우로 던져졌으며 그 경로를 추적할수 있게 하였다.

그들은 잉크 칠해진 곡선이 바로 포물선이라는것을 알게 되였다. 오를 때의 자리길과 내려갈 때의 자리길의 활등은 아리스토텔레스의 주장과는 반대였다.

갈릴레이는 발사체의 자리길이 포물선이라는것을 알고있었으며 발사체가 떨어진 거리가 지나간 시간의 두제곱에 비례하여 증가한다는것을 포물선의 수학적성질로부터 알아냈다. 이리하여 그는 《락하법칙》의 모든 요소들을 얻어내였으나 론리정연한 체계로 그것들을 공개한것은 그후 여러해가 지나서였다.

론리적으로 보면 과학은 두가지 측면을 가진다. 즉 《사건

들》이 어떤 결과를 주겠는가 하는것을 믿음성있게 예언하는 리론적연구방법과 이 예언들을 실험과 관찰을 통하여 증명하는것이다.

갈릴레이의 실험들의 뒤에는 수학적모형과 증명이 뒤따르군 하였다.

이것은 그후에 뉴톤이 운동의 세가지 법칙을 정식화할수 있게 하였다. 또한 과학자들자신이 관찰을 시도하도록 떠밀어주었다.

1632년에 《세계의 두 체계에 대한 대화(천문대화)》에서 갈릴레이는 세사람의 말 즉 전통적인 아리스토텔레스학파인 씸플리치오와 과학자인 쌀비아티 그리고 객관적인물로 묘사된 싸그레도의 대화를 통하여 떨어지는 물체들의 문제를 론의하였다.

쌀비아티: …나는 아리스토텔레스가 가령 50m의 높이에서 같은 순간에 서로 10배만큼 차이나는 질량을 가진 두개의 돌이 떨어지는 경우에 그것들의 속도가 아주 차이나기때문에 큰 돌이 땅우에 도달할 때 작은 돌은 5m의 거리만큼밖에 내려오지 못한다는것을 밝혀내려고 시도한 일이 있는가 하는것을 아주 의심하게 된다.

씸플리치오: 그러나 그가 이러한 실험을 했다는것은 그가 한 말에서 알수 있다. 즉 《보다 무거운것이 보다 빨리 떨어진다.》는 그의 말은 그가 그런 실험을 진행했다는것을 암시한다.

싸그레도: 그러나 그런 실험을 진행하여본 나는 약 45㎏ 혹은 90㎏(혹은 그이상)의 질량을 가지는 대포알도 같은 100m의 높이에서 떨어지는 0.5oz(온스)의 질량을 가진 훨씬 작은 보총알보다 한뽐도 앞서지 못한다는것을 당신에게 자신있게 말할수 있다.

쌀비아티: …우리가 만일 자연적인 속도들이 같지 않은 두개의 물건을 가지고있고 보다 빠른것에 보다 느린 물건을 련결한다면 빠른 물건은 느린 물건에 의해 어느 정도 지연될것이고 느린 물건은 보다 빠른 물건에 의해 어느 정도 빨라질것이 명백하다.

당신은 나의 이 견해에 동의하지 못하겠는가?

씸플리치오: 의심할바없이 그렇게 될것이다.

쌀비아티: 그렇다면 실례로 큰 돌과 작은 돌이 련결되여있고 큰 돌이 8의 속도로 움직이고 작은 돌은 4의 속도로 움직인다면 그것들의 합성은 8보다 더 작은 속도로 움직일것이다. 그러나 서로 련결된 두 돌들은 처음보다 더 무거운 돌로 된다. 그러므로 보다 큰 돌은 보다 작은 돌보다 더 빨리 움직인다. 이것은 당신의 가정과 모순되지 않는가?

씸플리치오: 보다 큰 돌에 붙은 보다 작은 돌은 큰 돌의 질량을 더하는것으로 되기때문에 나는 무슨 갈래판인지 모르겠다. 그리고 질량은 더했는데 왜 속도는 더해지지 않는지 왜 그것이 속도를 줄이지 못하는가를 알수 없다.

쌀비아티: 씸플리치오, 당신은 또 다른 오유를 범했다. 작은 돌이 보다 큰 돌에 질량을 더해준다는것은 사실이 아니기때문이다.

씸플리치오: 그래, 그것은 정녕 나로서는 도저히 리해할수 없다.

# 중력의 비밀을 밝히며

뉴톤의 만유인력리론은 우주가 어디서나 적용되는 자연법칙에 의하여 지배되는 력학적인 우주라는것을 밝힘으로써 꼬뻬르니끄회전에 물리적기초를 제공하였다.

뉴톤과 운동법칙을 정식화한 이딸리아의 수학자인 갈릴레이, 행성운동의 새로운 법칙들을 정식화한 도이췰란드의 천문학자인 요한네스 케플레르(1571－1630년), 로버트 후크, 뉴톤의 법칙들을 혜성에 적용한 영국의 천문학자인 에드먼드 핼리(1656－1742년), 영국의 철학자인 존 로케(1632－1704년)가 이에 대한 연구에 참가하여 이름을 남겼다. 중력에 대한 보다 현대적인 연구는 알베르트 아인슈타인, 영국의 천문학자이며 물리학자인 아써 스탠리 에딩턴(1882－1944년), 영국왕실 천문학자인 프랭크 워트슨 다이슨(1868－1939년) 등에 의하여 진행되였다.

## 중력과 뉴톤

뉴톤의 저서인 《자연철학의 수학적원리》에서 만유인력리론을 발표한것은 과학혁명의 최절정을 이루었다. 사실 과학에서의 혁명은 1543년에 꼬뻬르니끄가 행성들의 태양중심체계에 대하여 발표한 책 《천체의 회전에 대하여》로부터 시작되였다. 그러나 꼬뻬르니끄는 지구가 어떻게 자기축주위로 회전할수 있으며 어떻게 태양둘레로 돌아갈수 있는가를 설명할수 없었다. 이 빈구석을 메꾸어주며 갈릴레이와 케플레르가 그의 사상을 발전시키기 시작하였다.

1609년에 갈릴레이는 천체망원경을 리용하기 시작하였으며 꼬뻬

르니끄가 태양둘레에서의 행성의 운동을 묘사한것과 거의 같은 방법으로 목성둘레로 돌고있는 네개의 위성을 발견하였다. 그는 또한 운동은 물체의 자연적상태라는것을 주장하는 관성의 개념을 도입하였으며 중력가속도가 상수라는것을 보여주었다. 1619년에 이르러 케플레르는 태양둘레에서의 행성들의 속도와 타원자리길의 크기와 모양을 묘사하고 호상관련되여있는 행성들의 법칙들을 찾아내였다. 그러나 그는 태양이 어떻게 행성들의 운동을 일으키는가에 대해서는 설명하지 못하였다. 갈릴레이와 케플레르의 력학적개념들은 프랑스의 철학자이며 수학자인 데까르뜨와 네데를란드의 과학자 후이겐스에 의해 더욱더 발전되였으나 그들도 행성의 운동의 원인을 밝히지 못하였다.

17세기 후반기에 뉴톤은 하나의 태양중심계안에서 이 새로운 력학사상들을 수정하고 호상련관시킬수 있었다. 그러나 뉴톤혼자가 아니라 많은 다른 과학자들도 여기에 기여하였으므로 그것이 누구의 공로인가 하는것을 가려내는것은 불가능하다.

뉴톤은 아버지가 사망한 이후 1642년 성탄절날에 잉글랜드 동부에 있는 북해에 면한 링컨셔주의 그랜담가까이에 있는 농가에서 태여났다. 그는 외할아버지와 외할머니의 손에서 자라나 1661년에 케임브리지대학에 입학하여 아이저크 바로우(1630－1677년)의 밑에서 수학을 공부하였다. 1665년에 학위를 받은 후 뉴톤은 전염병을 피해 거의 2년동안 고향에 돌아와있었다. 이 기간에 그는 사과가 떨어지는것과 달이 운동하는것사이에 련관이 있다는것을 밝혀냈으며 그에 기초하여 만유인력에 대한 사상을 정식화하기 시작하였다. 그의 계산들은 사과에 비해 지구의 중심으로부터 60배나 더 멀리 있는 자리길에서 운동하는 달은 지구에서 떨어지는 사과보다 $60^2$배나 더 천천히 지구쪽으로 가속된다는것을 보여주었다. 이리하여 중력이 달까지 미친다면 그것은 거리의 두제곱에 거꿀비례하여 감소한다는 결론을 내렸다. 케임브리지로 돌아온 후 뉴톤은 1668년에 교원이 되였으며 1년후에 바로우의 추천으로 수학교수로 되였다. 그러나 거의 20년동안 그의 많은 연구는 케임브리지의 범위에서만 알려져있었다.

한편 로버트 후크는 중력이 자기적인 인력과 류사하다는 사상을 발전시키려고 하고있었다.

크리스토퍼 렌과 함께 1664년의 혜성에 대해 론의하면서 후크는 태양의 인력은 태양에 가까운 혜성의 자리길을 더 크게 구부리게 한다는것을 제기하였다.

1673년에 원심력에 대한 후이겐스의 공식이 나온 다음 후크와 렌, 핼리를 포함하는 몇명의 과학자들은 원자리길은 태양으로부터 거리의 두제곱에 반비례하여 변하는 힘에 의하여 설명될수 있다는것을 보여주었다. 그러나 그들은 이러한 거꿀두제곱비례법칙이 타원자리길들에도 적용되는가 하는것을 보여줄수 없었다.

1684년에 핼리는 케임브리지에 있는 뉴톤을 방문하여 그에게 이 문제를 제기하였다. 뉴톤은 즉시에 그 문제를 자신이 이미전에 풀었다고 대답하였으나 자기가 계산한것을 찾아낼수 없었다.

석달후 그는 케플레르의 3가지 법칙을 성과적으로 유도했다는 편지를 핼리에게 보내였다. 뉴톤의 성공의 중요성을 인식한 핼리는 케임브리지로 다시 찾아가서 태양계의 새로운 운동학에 대한 책을 쓸것을 뉴톤에게 권고하였다.

거의 2년동안 뉴톤은 아마도 과학의 력사에서 가장 중요한 과학저작이라고 볼수 있는 《자연철학의 수학적원리》(략하여 《프린키피아》)를 집필하는데 집중하였다.

그런데 1685년에 계획한 3권의 책들중 1권이 왕립협회에 도달했을 때 후크는 뉴톤이 자기의 사상을 훔치였다고 주장하였다. 이 말을 들은 뉴톤은 노하여 펄펄 뛰면서 후크와의 모든 관계를 끊어버리겠다고 말하였다. 처음에는 협회가 이 책을 출판할 계획이였으나 자금이 모자라한다는것을 안 핼리는 자기가 비용을 치르겠다고 하였다. 결국 책은 1687년 여름에 출판되였다.

《운동의 공리 또는 운동의 법칙들》이라고 제목을 단 서론부분에서 뉴톤은 운동의 3가지 법칙들을 제기하였는데 그것은 운동에 관한 그의 연구의 기초로 되였다. 첫 두가지 법칙은 갈릴레이와 데까르뜨가 뉴톤보다 먼저 얻은 결과에 기초하여 관성과 힘을 정의하였고 세번째 법칙은 모든 힘은 크기가 같고 방향이 반대

인 반작용을 가진다는 사상을 제기하였다. 《자연철학의 수학적원리》의 첫 두책들에서 뉴톤은 그의 3개 법칙들로부터 출발하여 여러가지 정리들을 유도해냈다. 거꿀두제곱인력을 리용하여 그는 케플레르의 3가지 법칙들을 모두 이끌어냈다.

《세계의 체계》라고 이름을 붙인 3권에서 그는 첫 두책에서 가설로 제기한 법칙들을 우주에 대한 관찰결과를 분석하는데 적용하였다. 여기서 중심적개념은 만유인력법칙인데 그것은 임의의 물체들사이에 그것들의 질량($m$과 M)의 적에 비례하고 그것들사이의 거리 R의 두제곱에 반비례하는 호상인력(F)이 작용한다는 거꿀두제곱비례법칙을 보여준다.

보통 $F=Gm\times M/R^2$이라고 쓰는데 여기서 G는 만유인력상수이다.

과학발전력사에서 하나의 가장 중요한 법칙의 하나인 만유인력법칙은 지구와 천체들의 운동을 통일적으로 서술하며 발사체와 행성들의 운동을 같은 원인으로 설명한다. 뉴톤은 그것을 리용하여 락하물체에 대한 갈릴레이의 법칙을 유도하였으며 적도부분의 반경이 극부분보다 더 큰 원인과 중력가속도에 미치는 그것의 효과를 지구의 자전으로 설명하였고 처음으로 밀썰물에 대한 충분한 설명을 주고 지구의 위성으로 되기 위한 조건을 보여주었다.

그는 또한 행성들의 운동, 지구의 축의 느린 흔들림 그리고 행성들과 달의 운동에서 케플레르의 법칙으로부터의 작은 편차들을 계산하였다.

물리학과 나아가서 모든 자연과학의 미래에 준 헤아릴수없이 큰 영향을 내놓고도 만유인력에 대한 뉴톤의 리론은 우주에 대한 현대적인식의 시작을 상징하고있다.

뉴톤의 리론은 프랑스의 이름난 계몽학자, 작가, 철학자인 볼때르에 의하여 프랑스에 전파되였다.

볼때르는 안해인 카트레트와 함께 1738년에 뉴톤의 리론에 대한 통속서적을 썼던것이다.

뉴톤의 리론은 철학, 경제학에도 큰 영향을 미치였으며 문학예술과 음악에도 영향을 주었다.

# 중력과 아인슈타인

1687년에 발표된 뉴톤의 만유인력법칙은 모든 물질은 중력을 통하여 서로 다른 물질들을 끌어당긴다는것을 말해준다. 만유인력은 우주에 있는 모든 물질립자들이 매개 다른 립자에 끌리우는 경향을 의미한다. 보다 무거운 물체일수록 그것들사이에 보다 강한 만유인력이 작용하며 멀리 떨어져있는 물체일수록 그것들사이에 보다 약한 힘이 작용한다. 이 법칙은 아주 성공적이였지만 하나의 물체가 어떤 거리에 떨어져있는 다른 물체에 힘을 미칠수 있다는것이 불가능한것처럼 생각되였다.

이러한 문제를 피하기 위하여 과학자들은 중력마당을 생각하고 그것은 물체주위의 공간을 변화시키는 물질이라고 생각하기 시작하였다. 다른 물질은 그 위치에서 마당과 호상작용하지만 첫번째 물질과 직접 호상작용하지 않는다. 그런데 여기서 물질이 어떻게 마당을 만들수 있는가 하는것을 설명할수 없었다.

알베르트 아인슈타인은 중력리론에서 큰 걸음을 내디디였다.

모든 물체들은 질량의 크기에 관계없이 중력의 작용을 받을 때 같은 비률로 가속된다는 잘 알려진 결과로부터 암시를 받은 아인슈타인은 중력작용과 가속도는 어떤 측면에서는 동등하다고 추리하였다. 대단히 빨리 우로 움직이는 승강기안에 있는 어떤 사람에게 빛묶음이 어떻게 보이겠는가에 대하여 생각하자. 만일 빛묶음이 승강기안에 들어갈 때 승강기바닥과 정확히 평행이라면 승강기가 가속될 때 빛의 행로는 약간 아래로 구부러진것으로 보일것이다.

가속도와 중력작용이 동등하다면 중력은 역시 빛을 아래방향으로 편기시켜야 한다. 빛은 사람들이 보통 생각하는것과 같은 질량을 가지지 않기때문에 이 결과는 전혀 기대하지 못하였던것이다.

아인슈타인은 빈 공간에서 중력마당속으로 지나갈 때 빛묶음

이 왜 구부러진 경로를 취하는가 하는것을 이상하게 생각하였다. 결국은 빈 공간에서 빛이 취하는 경로에 기초하여 직선을 정의하지 않는가, 그렇다면 어떤 경우에 직선은 구부러진 선으로 되는가?

이에 대한 대답은 지구와 같은 구부러진 겉면우에 선을 그려보면 명백해진다. 실례로 사람이 방향을 바꾸지 않고 지구적도를 따라 직선으로 움직이면 결국에는 출발점으로 되돌아온다.

1915년과 1916년에 아인슈타인은 일반상대성리론을 공개하였다.

이 리론은 중력마당을 어떤 힘의 작용결과가 아니라 공간—시간이 구부러진 결과로 해석하였다. 공간—시간에 대한 아인슈타인의 사상은 우주를 4차원적으로 이루어진 하나의 통일적인 《련속체》로 보는것이다. 모두 《공간》으로 정의된 이러한 차원들은 길이, 너비, 높이와 시간이다. 그 공간—시간련속체안에서 물리적사건들이 일어나며 그것은 명백히 밝혀지거나 그림으로 표시할수 있다. 질량이 움직이면 그 주위에는 구부러진 시공간의 잔물결을 산생시키는데 그것은 빛속도로 전파된다. 대조적으로 중력마당이 약하면 공간—시간의 구부러짐이 거의 일어나지 않으며 공간—시간이 거의 평탄하다는것을 의미한다. 아인슈타인은 자기의 리론이 정확한가를 측정하여 검토할수 있는 3가지 효과들을 제기하였다.

태양의 중력은 공간—시간을 구부러지게 하여 별빛이 구부러져 그것이 나타나지 말아야 할 곳에 나타나게 한다.

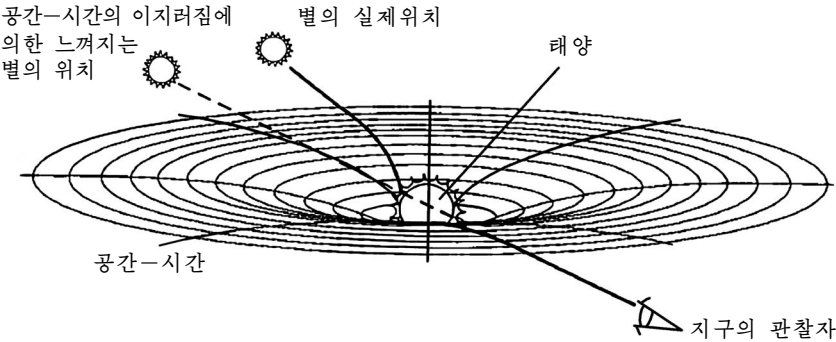



그림 8. 공간—시간의 구부러짐

그것은 빛의 중력적색변이, 수성의 근일점의 이동, 태양에 의한 별빛의 편기였다. 아인슈타인은 바로 태양옆을 지나온 별빛이 약 1.75초의 활등으로 편기되여야 한다는것을 계산하였다.

별은 태양이 떠있을 때에는 보통 볼수 없다. 그래서 아인슈타인은 완전일식이 있는 동안에 측정할것을 제기하였다.

영국의 왕립천문학자인 프랭크 다이슨은 1919년 5월 29일에 일어나는 일식을 촬영하기 위하여 두개의 탐험대를 출발시켰다.

데이비드슨은 한 탐험대를 이끌고 브라질북부로 떠났고 영국의 천문학자이며 물리학자인 에딩턴은 다른 한 탐험대를 이끌고 기니아만에 있는 프린시페섬으로 떠났다. 에딩턴의 탐험대는 16개의 일식사진을 찍었다. 그것들중 하나를 6개월전에 태양이 나타나지 않았을 때 찍은 같은 별마당의 다른 사진과 비교하여 별영상이 아인슈타인이 예언한 량만큼 이동한것을 발견하고 매우 기뻐하였다.

1919년 11월 6일에 다이슨은 런던에서 진행된 왕립협회의 련합모임에서 일식탐험들에 대하여 보고하면서 아인슈타인의 리론을 《인간의 사고력사에서 가장 위대한 성과의 하나》라고 말하였다.

아인슈타인의 일반상대성리론이 확증되자 사람들은 아인슈타인에 대하여, 그의 리론에 대하여 더 배우려고 갈망하였다. 1년동안에 상대성리론에 대한 100여가지이상의 책들이 출판되였다.

상대성리론에 대한 책 《물리학의 진보》가 1930년대에 세계적으로 많이 구독된데 대하여 그 책을 아인슈타인과 함께 집필한 레오뽈드 인펠드는 상대성리론에 대한 사회적반응이 그토록 강했던것은 제1차 세계대전이 방금 끝난 시기에 이룩된 성과였기때문이라고 말하였다.

살인과 증오에 진저리가 난 사람들에게 인간에게는 자연의 비밀을 꿰뚫어보는 능력이 있다는 새로운 희망을 준 일반상대성리론은 전인류가 긍지를 가질수 있는 위대한 성과였다.

아인슈타인의 중력마당리론은 사람이 생각해낼수 있는 임의의 환경에서 앞으로도 계속 시험될것이다. 왜냐하면 그것이 과학의 본성

이기때문이다.

일반상대성리론은 아인슈타인이 제기한 3개의 시험들 즉 중력적색변이, 수성의 근일점접근, 별빛의 구부러짐을 성과적으로 통과했으며 또한 레이다, 라지오망원경들, 맥동별들, 크와자르들을 리용하여 보다 많은 시험들도 성과적으로 통과하였다.

아인슈타인은 공간이 그저 텅 비여있는 곳이 아니라는것을 보여주었다. 공간과 시간은 독립적인것이 아니며 함께 고찰되여야 한다.

나아가서 그것들은 질량에 의해 구부러진다. 아마도 가장 큰 자극은 리론이 예언한 우주의 도형일것이다.

우스운 일이지만 아인슈타인의 리론에서 우주가 팽창한다는 결론이 나왔지만 미국의 천문학자 하블이 실지로 우주는 팽창하고있다는것을 보여주는 실험적증명을 내놓은 1929년전까지 아인슈타인은 자기의 리론에서 나오는 그 결론을 배척하였다.

비록 전체로서의 우주의 특성들은 아직 알려져있지 않지만 그것들이 일반상대성리론과 모순이 없을것이라는것을 안받침해주는 전제가 다 있다.

# 핼리혜성

에드먼드 핼리가 자기의 이름으로 불리우는 핼리혜성이 태양가까이로 다시 돌아오는 시간을 성공적으로 예언한것은 뉴톤의 중력법칙과 운동법칙들이 놀랄만큼 정확하다는것을 보여주었다.

그것은 또한 핼리혜성이 별들사이의 공간으로부터 와서 한번만 태양가까이를 지나는것이 아니라 태양둘레를 돌고있다는것을 보여주었다.

아이저크 뉴톤과 천문학자이며 왕립협회의 창립자인 크리스토퍼 렌(1632－1723년), 로버트 후크, 예언된 핼리혜성이 돌아오는것을 처음으로 본 도이췰란드천문학자인 요한 죠지 팔리쯔(1723－1788년)의 이름들이 핼리혜성과 함께 력사에 남아있다.

# 커피집에서의 론쟁

1684년 1월 런던왕립협회회의뒤끝에 3명의 협회성원들이 론의를 더 하기 위해 커피집에서 만났다. 그들은 태양의 인력이 태양으로부터 행성까지의 거리의 두제곱에 거꿀비례하여 약해지게 된다면 행성의 자리길이 어떻게 되겠는가를 론의하였다.

로버트 후크는 자기는 이미 그 자리길이 타원일것이라는 결론을 내렸다고 주장하였으나 그것을 증명하지 못하였다. 그는 자기는 다른 사람들이 그것에 대해 연구하고 그 문제가 얼마나 힘든 문제였는가를 알게 된 다음에 자기의 증명을 내놓겠다고 주장하였다.

크리스토퍼 렌은 분명히 그것을 믿지 않은것 같다. 그것은 다음

의 사실로부터 짐작할수 있다. 그는 그것에 대한 증명을 두달안으로 내놓는 사람에게는 40Shillings(쉴링)까지 임의의 책에 대한 보상금을 주겠다고 약속하였는데 누구도 그렇게 하지 못하였다.

커피집에서의 론쟁의 세번째 사람은 당대의 저명한 과학자들중의 한사람인 에드먼드 핼리였다.

8월에 핼리는 케임브리지에 있는 아이저크 뉴톤을 방문하여 행성의 자리길에 대하여 질문하였다. 몇년전에 뉴톤은 그 문제를 계산해보았기때문에 즉석에서 그 자리길은 후크가 예언한바와 같이 타원일것이라고 대답하였다. 그는 자기가 기록해놓은것을 찾아내지는 못했지만 다시 증명하겠다고 핼리에게 약속하였다.

추측컨대 1665년에 뉴톤은 전염병이 퍼져 케임브리지가 폐쇄된 기간에 케플레르의 법칙들과 관련한 문제들을 풀었으나 그것을 분실하였던것이다.

후날 뉴톤이 증명한것을 받았을 때 핼리는 너무도 깊은 인상을 받고 그것을 책에 구체적으로 소개할것을 권고하였다. 핼리는 로버트 후크가 거꿀두제곱법칙을 유도하고 그것으로 뉴톤을 누르기 전에 뉴톤의 결과들을 출판하도록 하기 위한 외교공세를 시작하였다.

핼리의 거듭되는 고무에 따라 뉴톤은 인류력사에서 가장 위대한 과학저서의 하나인 《자연철학의 수학적원리》를 완성하였다. 핼리는 이 책을 교열하고 편집한 다음 그것의 인쇄비용을 지불했다.

그것은 1687년에 출판되였는데 거기에는 뉴톤의 만유인력법칙과 운동의 3가지 법칙들이 포함되여있었다. 그것은 하늘에서 행성들의 운동과 사과가 지구에로 떨어지는것을 리해하기 위한 열쇠였다.

책은 몇개 부분들로 나누어 출판되였는데 3권에서 뉴톤은 1680년 혜성에 대한 자기의 관찰들을 종합하였으며 그 혜성이 태양에 대한 포물선자리길을 그릴수 있다고 제기하였다. 3권을 출판하게 되였을 때 후크는 만유인력법칙을 정식화하는데서 자기의 우선권을 인정하는 머리글을 포함시킬것을 요구하였다. 후크는 중력이 태양으로부터 거리의 2제곱에 거꿀비례하여 약해지게 된다고 주장한 몇몇 사람들중의 한사람이였지만 결코 이러한 사상에 기초하여 해

놓은것은 아무것도 없었다. 뉴톤은 격분하여 3권의 출판을 승낙하지 않았으나 핼리는 뉴톤에게 출판하라고 계속 설복하였다.

## 플람스티드의 별지도

핼리는 뉴톤과 다른 과학자사이의 관계를 조절하기 위하여 외교술을 발휘하지 않으면 안되였다. 존 플람스티드는 한생을 새로운 별하늘지도를 만드는데 바치였다.

사람들은 1675년에 왕실이 지정한 천문학자로 된 플람스티드가 자기의 발견들을 발표할것을 기대하였으나 그는 측정들을 더욱더 개선할 필요가 있다고 변명하면서 거의나 아무것도 발표하지 않았다.

1703년에 왕립협회 회장으로 된 뉴톤이 찾아왔을 때에야 플람스티드는 자기의 연구결과가 곧 발표될수 있게 준비할것이라고 약속하였다. 그러나 몇년후 플람스티드는 관찰사본들과 목록초안을 아직 출판할수 있게 준비하지 못했다는 설명을 덧붙여서 왕립협회에 제공하였다. 큰 전진이 없이 몇년 더 지나게 되자 뉴톤은 플람스티드를 되게 욕하였다.

결국은 뉴톤의 요구에 따라 핼리가 출판을 위해 플람스티드의 목록을 준비하였다.

그것은 1712년에는 미완성품으로 출판되였고 1725년에야 3권으로 완성된 형태로 출판되였다. 1982년에는 부분적으로 영어로 번역되였다.

목록은 한개로부터 3 000개의 별들까지 북쪽하늘의 지도를 확장하였다. 천문학자들은 기뻐하였다.

핼리가 플람스티드에게 충분히 통보하고 그를 찬양하였지만 플람스티드는 뉴톤과 핼리에게 아주 성을 냈으며 얻어낸 모든 사본들을 자기 손으로 공개적으로 불살라버렸다.

운명의 희롱이라고 할수 있는것은 1719년에 플람스티드가 죽은 다음 핼리가 왕실천문학자로 지명되여 그의 위치를 차지하게 되였다는것이다.

# 핼리의 예언

1684년에 에드먼드 핼리는 젊은 나이였지만 이미 이름있는 천문학자로 널리 알려져있었다.

그는 남쪽바다가에로 려행하는 과정에 태양이 자기축주위로 회전한다는것을 처음으로 관찰한 사람이였다.

1680년에 이딸리아와 프랑스에로의 방대한 려행기간에 그는 혜성을 관측하였는데 그것은 후에 그의 이름으로 불리우게 되였다. 그는 별목록과 조수목록들을 만들어냈으며 케플레르의 법칙들이 왜 그렇게 작용하는가를 알아내려고 시도하고있었다.

1695년경부터 핼리는 고대와 현대의 혜성들에 대한 상세한 정보를 수집하기 시작하였다.

많은 조사보고들은 너무 정확치 못하여 크게 리용되지 못하였으나 일부 자료에 기초하여 별자리에서의 혜성의 위치가 시간에 따라 변하는것을 련결시킬수 있었다.

1703년에 핼리는 자기 사업의 성과로 왕립협회성원으로 되였으며 같은 해에는 옥스퍼드에서 혜성들에 대한 연구를 진행하였다. 그가 유명한 관찰들을 한것이 이 시기였다.

《프린카피아》에서 그려진 방법대로 자리길을 정의하는 다섯개의 파라메터들을 3개의 알맞는 우주의 관찰들로부터 추리해내면서 고심어린 탐구의 결과 핼리는 1705년에 24개의 혜성들에 대한 자리길요소들의 목록을 공개하였다.

거기에는 1337년과 1683년사이에 나타난 밝은 혜성들이 포함되여있었다. 핼리는 1531년 8월, 1607년 10월 그리고 1682년 9월의 혜성들의 자리길이 아주 류사한것으로 보아 아마도 같은 혜성일것이라는 생각이 들었다.

많은 사람들이 그것들은 직선 혹은 포물선자리길에 따라 운동한다고 가정하였다. 두 경우가운데서 어느 경우에나 혜성은 한번만 태

양가까이를 지나갈것이며 별사이공간으로 사라질것이였다.

헬리의 계산에 의하면 일부 혜성자리길들은 원으로부터 심하게 차이나는 타원자리길로 되는데 이것은 그것들이 태양둘레를 돌며 계속 태양을 찾아 돌아올것이라는것을 의미하였다.

헬리는 1682년의 혜성이 1758년 말경에 다시 돌아올것이라는 계산결과를 얻었다.

그 혜성이 돌아오는것을 볼 때까지 살수 있다고 기대할수는 없었지만 예언한 시간에 그것이 돌아온다면 영국사람에 의해 예언된것이였다고 알아주기를 그는 희망하였다.

그는 여러가지 측면을 고려하여 1531년에 아피아누스가 관측한 혜성이 1607년에 케플레르와 롱고몬타누스가 관측하였고 1682년에 자기가 관측한 혜성과 같은 혜성이라고 믿고싶었다.

그래서 그는 그것이 1758년에 다시 나타날것이라는것을 확신을 가지고 예언하는 모험을 하려고 하였다.

만일 실지로 그렇게 된다면 다른 혜성들도 다시 돌아오지 않으면 안되리라는것은 의심할 여지가 없게 될것이다.

시간이 지남에 따라 헬리는 혜성의 자리길에 대한 목성의 영향들을 계산하려고 노력하였다.

목성의 영향과 그리고 헬리가 아직 알지 못하고있었던것으로서 혜성의 핵으로부터 물질이 분출된다는 사실이 있었기때문에 혜성자리길들을 정확히 예언하는것은 불가능하였다.

행성들의 영향을 고려한 현대의 계산들은 헬리혜성의 주기가 3천년동안에 68년으로부터 79년까지의 범위에서 변한다는것을 보여준다.

헬리가 사망한 뒤 드디여 1758년에 천문학자들과 수학자들은 헬리혜성이 나타날 장소와 시간을 자세히 계산하려고 하였다.

그런데 도이췰란드의 젊은 천문학자인 요한 죠지 팔리쯔(1723－1788년)가 성탄절날 저녁에 맨 처음으로 헬리혜성을 보았다.

그는 혜성이 나타날것이 기대되는 곳에서 희미한 솜털쪼각을 보았다고 하면서 망원경을 설치하고 그것이 혜성이였다는것을 확정하였다.

결국 핼리가 그 혜성을 성공적으로 예언했던것이다. 이 소식은 급속히 퍼지였다. 그리고 그 혜성은 10년안으로 핼리혜성으로 알려지게 되였다. 이것은 혜성에 사람의 이름을 붙인 첫 실례였다.

1713년에 나온 뉴톤의 《프린카피아》의 제2판에는 핼리의 예언이 포함되여있다. 그것은 물리적모형의 수학적해석에 기초하여 이루어진 훌륭한 예언으로서 그후 50년동안 남아있었다.

아마도 그보다 중요한것은 그것이 핼리가 물리학의 발전력사에서 얼마나 중요한 역할을 놀았는가 하는것을 보여주었다는데 있다고 보아야 할것이다.

핼리가 《프린카피아》를 쓰도록 뉴톤을 설복하고 고무하고 높은 외교술로 만난을 극복하도록 하지 않았더라면 뉴톤이 그 책을 쓰지 않았을것이다.

비록 책을 써놓았지만 핼리가 교정하고 편집하고 자금을 대주지 않았더라면 책이 출판되지 못했을것이다.

그리고 책에 포함시킨 핼리의 예언을 그것이 후에 핼리혜성이 다시 나타남으로써 확증한 덕분에 전세계에서 책의 인기가 대단히 높아졌다는것도 중요하다.

한편 핼리는 왕립협회에서 서기로 사업하면서 여러가지 문제들을 연구하였다. 즉 성서에서 나오는 홍수의 원인들을 결정하는 문제로부터 바다면우에서 대기압과 고도사이의 관계를 찾아내는 문제에 이르기까지 넓은 범위의 문제들을 연구하고있었다.

그는 대기의 높이가 45mile이라는것을 정확히 계산해냈다.

핼리는 잠수종, 배의 경로를 측정하는 장치, 바다물의 증발속도를 측정하는 장치들을 비롯한 여러가지 항해기구들을 설계하였다. 또한 현대의 인체보험의 기초로 되는 생명－기대표들을 만들어냈다.

1696년부터 1698년사이에 그는 뉴톤에 의해 제기된 위치인 잉글랜드서부의 췌셔주의 소재지인 췌스터의 왕실 화페주조소의 부회계 검사관으로 되였다. 당시 뉴톤은 화페주조소의 책임자였다.

1698년에는 남쪽바다들에로의 다른 탐험을 진행하여 지구둘레의 자기마당변화를 연구하였다.

# 하이젠베르그의 불확정성관계

도이췰란드물리학자인 웨르네르 하이젠베르그(1901－1976년)는 새로 나온 량자리론에서 물체는 동시에 일정한 위치와 운동량을 둘다 가진다고 생각할수 없다는것을 보여주었다.

닐스 보르, 도이췰란드물리학자인 아르놀드 좀메르펠드(1868－1951년), 도이췰란드물리학자인 막스 보른(1882－1970년)이 이에 대한 연구로 력사에 이름을 남기였다.

## 량자력학

1918년 제1차 세계대전이 끝난 후 원자의 토성모형이 많은 인기를 끌고있었다. 양으로 대전된 핵둘레를 음으로 대전된 전자들이 돌고있다는 모형은 토성둘레를 도는 위성과 류사하다는데로부터 그것을 본따서 그런 이름을 붙이였다.

1913년에 닐스 보르가 제기한 토성모형은 한 자리길로부터 다른 자리길에로 전자들이 이행할 때 원자들이 복사하는 빛의 색갈(주파수)을 예언하는데서 특별히 좋은 모형이였다.

보르는 전자들은 일정한 에네르기준위를 가지는 특별한 자리길에서만 핵둘레를 돈다고 생각하였다. 전자가 낮은 에네르기자리길로 《이행》할 때 에네르기가 복사된다. 보다 높은 에네르기자리길에로 《이행》할 때에는 에네르기가 흡수된다.

보르의 리론이 성과를 거두었지만 그와 함께 많은 수수께끼들이 생겨나게 되였다. 실험실에서 보다 복잡한 원자들의 거동은 모형에서 나오는 예언들을 따르지 않았다.

실례로 많은 전자를 가진 원자들 혹은 자기마당속에 있는 원자들은 《틀린》 색갈 혹은 주파수들의 빛을 복사했다. 리론적으로 보면 보르의 모형은 원자의 안정성을 설명할수 없었다. 외부에서 교란을 주면 토성의 위성은 자리길이 달라질것이지만 교란된 원자안에서 전자들은 보르자리길들을 완고하게 유지한다는 결론이 나왔다.

제1차 세계대전후 보르자신과 젊은 물리학자 하이젠베르그를 포함하는 많은 과학자들은 토성모형을 개선하여 이 결함들을 퇴치하려고 노력하였다.

1925년에 하이젠베르그는 여러 종합대학을 방문하면서 전자리론을 리해하는데서 도움을 받기 위해 노력하였다.

그는 자주 이름있는 물리학자들 즉 베를린에서는 아인슈타인, 코뻰하븐에서는 보르 특히 뮨헨에서는 좀메르펠드의 연구조직들에 참가하였다. 원자리론과 천문학전문가인 좀메르펠드는 복잡한 자리길들에서 돌아가는 위성들을 묘사하는 방법들을 하이젠베르그에게 배워주었다.

가능한 전자자리길들에 대한 방정식들을 생각하는 과정에 하이젠베르그는 마침내 원자들에 의해 복사되는 빛의 색갈과 전자들의 이행을 맞출수 있었다. 그는 지도교원인 보른에게 자기가 연구한것을 보여주었다.

파스큐얼 죠단과 함께 하이젠베르그와 보른은 1925년에 현재 유명한것으로 된 론문인 《행렬력학》을 발표하였다. 하이젠베르그는 그 발견으로 하여 1932년에 노벨물리학상을 받았으며 보른은 량자력학에 대한 기여 특히 파동함수의 물리적의미를 밝힌 공로로 1954년에 노벨물리학상을 받았다.

이 사상들은 에르윈 슈뢰딩게르의 파동력학적리론과 잘 결합되여 《량자력학》을 이루었다. 그러나 새로운 리론은 수수께끼적인 일부 측면들을 가지고있었다.

한가지문제는 하이젠베르그가 전자의 속도나 그것의 자리길의 한 부분에서 전자의 위치를 계산할 때 생겨났다. 그가 먼저 속도를 선택하고 위치를 계산했을 때 얻은 결과는 먼저 같은 위치를 선택하

고 다음에 속도를 계산했을 때 얻은 결과와 차이났던것이다. 이것은 이 리론에서는 X×Y는 Y×X와 같은 결과를 주지 않는 수학이 요구된다는것을 의미하였다.

하이젠베르그는 곧 보다 더 복잡한 문제들까지도 취급할수 있도록 량자력학을 확장하였다.

그들은 또한 리론이 전자들에만 적용되는것이 아니라고 주장하였다.

사실 그들은 량자력학을 리용하여 임의의 대상 행성까지도 묘사할수 있었다. 그러나 원자들보다 훨씬 큰 물체들의 경우에 량자계산들과 보통의 물리적계산들사이의 차이들은 측정하기에는 너무도 작다.

## 불확정성

하이젠베르그가 말한것처럼 모든 경우에 고유한 같은 순간에 위치와 속도의 《불확정성》은 리론적계산에서 피할수 없이 얻어지는 결과였다. 보르는 이것은 이러한 방법으로 계산된 수들이 다만 《평균값》을 표현해야 한다는것을 의미한다고 주장하였다.

하이젠베르그는 자기가 물리학의 근본원리를 발견했다고 생각하게 되였다. 즉 물체의 속도와 운동량은 그것들이 동시에 《존재》조차 하지 않기때문에 엄밀하게 측정할수 없다는것이다.

하이젠베르그는 처음으로 그 리유를 생각해냈다고 보르에게 말하였다. 아마도 자연에는 물리학에 의해 묘사될수 있는것들이 존재할뿐이다. 이것이 사실이라면 리론상으로 생각한 대상들이 가진다고 생각한 속도와 위치는 언제나 불확정적이다. 예언된 값들은 다만 평균값일뿐이다. 그러므로 이러한 량들을 측정하는것은 꼭같은 실험들에서조차 힘들것이다.

1945년에 끝난 제2차 세계대전이후 레이다기술이 발전한 결과에 전자의 운동들을 극히 빨리 그리고 정확히 측정할수 있게 되였다.

이 새로운 전자시대에 하이젠베르그의 원리는 주목을 끌게 되였다. 일부 경우에 공식들은 금속이나 반도체안에서 위치들을 《피하는》 전자들을 상상할수 있게 하였다.

반도체3극소자들, 굴2극소자들 그리고 《량자전자학》의 다른 장치들은 지금 흔히 그 장치들에서 전자의 흐름들이 고전물리학에 의해서는 상상하기 불가능한 장소들과 방식들로 흐르면서 불확정성이 실지로 존재한다는것을 보여준다.

하이젠베르그는 자기의 원리를 확장하여 위치와 운동량의 《쌍》뿐아니라 에네르기변화와 흘러가는 시간사이에도 불확정성이 있다는것을 보여주었다.

현재 핵안으로부터 립자들을 끌어내는것은 매우 큰 에네르기를 가지는 대단히 빠른 립자들에 의해서 실현되고있다.

하이젠베르그의 원리를 리용하여 현대의 립자리론은 소립자들사이에 작용하는 힘들의 거동을 설명하였는데 그것은 고에네르기물리학과 우주학에서 빛나게 확증되였다.

아인슈타인의 반대에도 불구하고 하이젠베르그의 원리는 지금 자연의 기본원리로 인정되고있다.

1964년에 죤 쎄바스티안 벨이 진행한 계산과 1982년에 알렝 애스펙트가 진행한 실험들은 하이젠베르그가 발견한 원리가 실제로 자연의 원리로 된다는것을 확증하였다.

# 아인슈타인의 확정성

1927년 브류쎌에서 있은 제5차 쏠베대회에서 하이젠베르그는 위치와 운동량과 같이 서로 끊임없이 호상작용하는 어떤 값들의 쌍들에 대하여 량자력학에 의해 주어지는 리론적한계들을 밝힌 유명한 불확정성원리를 발표하였다.

그는 쌍을 이루는 관측되는 량들 즉 호상 관련된 측정가능한 량들의 쌍에 대한 새로운 분류에 의하면 불확정성원리는 량자력학적

계가 정확한 위치와 정확한 운동량을 동시에 가질수 없다는것을 보여준다고 주장하였다.

불확정성은 크고작은 모든 현상들에 영향을 주지만 그것은 보통 원자정도의 크기의 립자들에서만 나타난다.

회의에서 아인슈타인은 심각한 반대의사를 표시하였다. 그는 물리학의 기초리론은 평균값이 아니라 엄밀한 값들을 예언하여야 한다고 생각하였다.

아인슈타인과 보르는 생의 전기간에 걸쳐 하이젠베르그의 사상들의 타당성에 대하여 론쟁하였다.

하이젠베르그의 방법이 실제적인 전자공학적계산들에서 아주 잘 맞았기때문에 이 론쟁은 실험적인것이 아니라 철학적인것이였다. 론의의 대상은 원리상의 문제였다. 불확정성이 단지 언제인가는 보다 정확한 방법에 의해 다른것으로 바꾸어져야 하는 하이젠베르그의 방법의 한 부분인가 혹은 자연의 근본적인 사실인가 하는것이였다.

아인슈타인은 불확정성을 우주의 근본원리로 보는데 대하여 반대하면서 《나는 신이 세계와 도박을 놀고있다는것을 절대로 믿지 못할것이다.》고 하였다.

# 이온권

영국출신의 미국전기기사이며 하바드종합대학 교수인 아써 에드윈 케널리(1861－1939년)와 영국물리학자이며 전기공학자인 올리버 헤비사이드(1850－1925년)는 각각 독립적으로 지구의 구부러진 겉면둘레로 라지오파들을 반사할수 있는 대전된 층이 대기권 꼭대기에 존재한다는것을 제기하였다.

스코틀랜드물리학자인 벨훠 슈트어트(1828－1887년), 이딸리아전기공학자인 굴리엘모 마르꼬니(1874－1937년), 이온층을 발견한 영국물리학자인 에드워드 빅터 애플튼(1892－1965년), 도이췰란드물리학자인 하인리흐 헤르쯔(1857－1894년)가 이에 대한 연구로 이름을 남기였다.

# 라지오파가 구부러진다

헤르쯔가 라지오파를 발견한지 불과 13년후인 1901년 12월 12일에 마르꼬니는 영국으로부터 카나다의 동쪽 쎄인트 로린스만어구에 있는 섬인 뉴화운드런드섬까지 라지오신호들을 전송하는데 성공하였다. 그러나 당시에는 라지오신호들은 빛과 같은 전자기파이므로 거의 직선적으로 전달된다는것이 알려져있은데로부터 이 력사적인 사건을 설명하기가 힘들었다. 이리하여 과학자들속에서는 마르꼬니의 신호들이 어떻게 대서양의 구부러진 겉면둘레로 전달될수 있겠는가에 대하여 상당한 론의들이 있었다. 일부 과학자들은 충분히 긴 파장의 파동이 에돌이에 의해 지구의 굴곡둘레로 구부러질수 있다는것을 보여주려고 하였다. 그러나

계산들은 에돌이리론들이 마르꼬니의 결과들을 설명하는데 충분하지 못하다는것을 보여주었다.

정확한 설명은 1902년에 미국의 케널리와 영국의 헤비사이드에 의해 거의 동시에 제출되였다.

그들은 독립적으로 보다 높은 대기층에 전기를 전도하며 라지오파를 지구로 되돌려보낼수 있는 층이 존재한다는것을 제기하였다.

이 전도층과 지구겉면사이에서 련속적으로 일어나는 반사들이 지구의 곡면을 따라 파들을 이끌어갈수 있다.

헤비사이드는 또한 이 령역이 전도성을 가지는것은 대기웃층에서 태양복사에 의해 생겨난 이온이라고 불리우는 전기적으로 대전된 립자들이 존재하는데로부터 생겨나는 결과일수 있다고 제기하였다.

이 층은 썩 후에 《이온권》이라고 부르게 되였다.

대기웃층에 이러한 전기적으로 대전된 전도층이 있다는 사상은 20년전인 1882년초에 벨훠 슈트어트에 의해 이미 제기되였었다.

지구자기마당에 대한 연구에서 슈트어트는 대기층안의 높은 곳에서 흐르는 전류들은 지구자기마당에서 매일 일어나는 작은 변화들을 설명할수 있다는것을 제기하였다.

이러한 변화들은 지구를 둘러싸고있는 《공기의 바다》에서의 조수의 흐름들에 의해 일어날것인데 그것은 태양과 중력의 영향에 의해 생겨난다.

짧은 라지오파의 많은 특성들과 결합된 지구자기마당에서의 요동의 이러한 해석은 케널리－헤비사이드층의 존재를 확증하는것처럼 보이였으나 이 현상들은 간접적인 증거물만을 제공할뿐이였다.

# 이온권을 측정하다

이온권의 존재에 대한 첫 직접적인 증거는 1924년에 마일즈 에이. 에프의 도움으로 애플튼에 의해 얻어졌다.

케임브리지종합대학에서 애플튼은 런던에 있는 새로운 영국방송

협회(BBC)본부로부터 오는 라지오신호들을 연구했으며 그것들의 세기의 특징적인 변화들에 주목을 돌렸다.

그가 1924년에 런던종합대학의 새로운 위치를 차지했을 때 애플튼은 한밤중에 잉글랜드 남부 도씨트주의 도시이며 영국해협에 면한 휴양지인 본머스에 새로운 송신기들을 배치하고 옥스퍼드종합대학에는 수감기들을 배치하도록 하였다.

송신주파수를 변화시키면서 그는 이온권이 존재한다고 가정하고 지구의 파동들과 이온권으로부터의 반사된 파동들이 서로 간섭할 때 일어나는 신호의 세기에서의 그 어떤 변화를 검출할것을 기대하였다.

1924년 12월 11일에 애플튼과 바니트는 송신기의 주파수가 천천히 증가할 때 신호가 보였다안보였다 하는 규칙적인 변화를 관찰하였다. 접수한 신호들로부터 그들은 자기들이 발견한 반사는 약 100㎞의 높이에서부터 왔다는것을 계산하였다.

1926년 겨울에 애플튼은 헤비사이드층(E층)의 이온화가 새벽에 이르러 양이온들과 전자들의 재결합에 의하여 충분히 줄어들어 라지오파들이 그것을 뚫고 지나가게 한다는것을 발견하였다. 그러나 약간의 반사가 관측되였는데 그것은 공기가 희박해서 충분한 재결합을 하지 못하는 보다 높은 층으로부터 일어난다는것이였다.

지금은 애플튼층(F층)이라고 불리우는 그 층의 보다 낮은 높이는 지구로부터 약 230㎞로 측정되였다. 나아가서 1927년 일식이 진행되는 동안의 관찰들은 헤비사이드층의 높이가 일식이 시작되였을 때 변화된다는것을 보여주었는데 이것은 이온화가 실지로 헤비사이드가 제기한것처럼 태양복사에 의해 일어난다는것을 보여주었다.

1931년에 진행된 체계적인 실험들은 이온권안에서 전자의 밀도의 변화를 결정하기 시작하였는데 태양이 떠오를 때에는 이온화가 증가하며 대기의 활동에 의해 일어나는 산발적인 증가를 제외하고는 밤에는 이온화가 낮아진다는것을 보여주었다.

정오에 이온화는 1937년 최대흑점이 다가올 때 증가한다는것

이 발견되였으며 흑점들과 대기상층을 이온화시키는 자외선복사의 증가사이에 련관이 있다는것을 보여주었다.

이것은 태양으로부터의 자외선복사의 적은 몫만이 지구에 도달하지만 그것을 측정할수 있게 하였다.

1957－1958년의 태양흑점이 최대인 동안을 국제지구물리학년도로 제정하였는데 이 시기 이온권의 변화들과의 관계를 포함하여 전세계적범위에서 지구물리학적현상들을 연구하도록 제정하였다.

이온권에 대한 연구는 다른 과학들에서의 발전에 기여하였다.

레이다의 초기의 개발은 이온권의 연구들과 밀접히 련관되여 있었다. 가장 출력이 높은 레이다체계들에 의한 이온권으로부터 반사 레이다신호들의 수평선초과기술은 관습적인 레이다보다 약 10배나 더 큰 약 3 000㎞까지의 거리를 측정하는데 리용된다.

수평선초과레이다체계들은 콤퓨터들에 의거하여 부단히 변하는 이온권의 세기와 두께를 도표로 작성하도록 하며 조건들이 가장 좋은 곳과 어떤 주파수를 써야 가장 훌륭하게 레이다체계가 동작할수 있는가를 결정할수 있게 한다.

이리하여 이온권은 통신과 민족의 안전에서 없어서는 안될 수단으로 되였다.

임풀스기술 혹은 레이다기술은 이온권을 측정하기 위하여 이 시기에 개발되였다. 전송된 하나의 라지오임풀스가 두개의 수감임풀스들로 나타나는 이 방식에서 하나는 지구에서 전달되는 파동들이고 다른 하나는 반사된 파동으로서 그것들은 둘다 기록되여 서로 비교된다.

이 기술에 기초하여 2중굴절에 의해 라지오파를 두 부분으로 가르는 한 매질로부터 다른 매질로 파동이 나갈 때 두개의 서로 다른 성분들로 파동이 구부러지는 이온권우에서의 지구자기마당의 영향의 결과로 나타나는 메아리의 분할을 발견하게 되였다.

이 결과를 설명하기 위하여 《자기－이온》리론을 발전시키는 과정에 애플튼은 이온들이 아니라 자유전자들이 라지오파의 반사를 일으킨다는것을 보여주었다.

후에 《애플튼－하트리방정식》으로 불리운 이 리론은 이온권안에서의 임의의 층에서 그 층을 침투하기 위한 림계주파수를 측정함으로써 거기서의 전자밀도와 자기마당을 보여주었다.

이온권안에서 전자밀도변화에 대한 체계적인 실험들은 1931년에 시작하였는데 E층밀도는 태양이 떠오를 때 증가하며 오후에는 감소한다는것을 발견하였다.

이온화는 대체로 대기의 먼지에 의해 일어나는 산만한 증가를 제외하고는 밤에는 낮아진다. 이온화가 약한 령역은 E층아래에서 발견되였는데 그것을 D층이라고 부른다.

1932년에 애플튼은 극령역을 연구하기 위하여 과학탐험대를 조직하여 노르웨이에서 이온권을 연구하였다.

거기서 태양으로부터 대기권안으로 들어온 대전립자들에 의해 생겨난 극의 라지오차페의 첫 실례를 기록하였다.

제2차 세계대전이 일어나기 전까지 그의 방법들은 세계의 50여개이상의 곳에서 리용되여 이온권조건을 감시하기 시작하였다.

이온권에 대한 연구로 애플튼은 1947년에 노벨물리학상을 받았다.

# 동위원소들

죠우지프 죤 톰슨은 실험을 통하여 순수한 화학물질의 원자들은 본질적으로 같은 원자질량을 가지지 않는다는것을 확증하였다.

영국화학자인 프리드리크 쏘디(1877－1956년), 도이췰란드물리학자인 유겐 골드스테인(1850－1930년)이 이에 대한 연구를 진행하였다.

# 방사성의 비밀

19세기초에 영국의 화학자 돌턴은 후에 현대의 원자리론으로 발전된 리론을 제기하였다.

실례로 알루미니움과 같은 순수한 화학물질쪼각을 계속 나눌수 있다면 종당에는 더는 쪼갤수 없는 가장 작은 부분인 원자에 도달할것이라고 생각하였다. 같은 화학물질의 모든 원자들은 크기와 모양, 질량이 꼭같다고 생각하였다.

1890년대말에 자연방사성이 발견되였는데 방사성은 일부 불안정한 원소들에 의하여 전기적으로 대전된 립자 즉 $\alpha$립자와 $\beta$립자나 투과능력을 가진 복사선인 $\gamma$선이 저절로 나오는 현상이다.

실례로 토리움에서는 이러한 방출이 련속적으로 일어나면서 각이한 《딸원소들》로 넘어가는데 그 매 딸원소들은 붕괴되여 화학적으로 다른 물질로 되며 나중에는 안정한 원소인 연이 얻어진다.

20세기초에 이르러 과학자들이 분석화학기술을 리용하여 원소들의 혼합물을 갈라놓는 기술을 가지게 된 후 화학자 쏘디는 방사

성계렬들에서 산생된 일부원자들이 화학적으로 같지만 서로 다른 질량을 가진다는것을 발견하고 놀라게 되였다. 이리하여 동위원소의 사상이 출현하게 되였다.

1913년에 그 단어를 만들어낸 사람은 쏘디였지만 동위원소가 존재한다는것을 확증하고 새로운 화학분석방법을 제공한 물리학자는 죠우지프 죤 톰슨이였다.

톰슨이 연구하던 초기에 원자구조자체는 아직 명백치 않았다. 그러나 몇년후에 라더퍼드와 그의 동료들의 연구에 의하여 원자의 질량의 대부분은 양으로 대전된 작은 구인 핵에 집중되여있고 전자라고 불리우는 음으로 대전된 립자들이 그 주위를 돌아가고있다는 축소된 태양계의 모형인 현대의 원자에 대한 개념이 얻어질수 있었다. 전체로서의 원자는 중성이다. 전자자체는 동위원소에 대한 라더퍼드의 연구가 있기 약 10년전에 톰슨에 의해 발견되였다.

초기연구에서 톰슨은 대단히 낮은 압력하에서 유리관안에 포함되여있는 기체속으로 전기를 통과시켰다. 축전지를 두개의 금속판 혹은 전극들에 련결하였는데 그 전극들은 관의 벽안에 밀봉되였다.

축전지의 양극단자에 련결된 전극을 양극, 다른 극을 음극이라고 불렀다. 대부분의 공기가 관으로부터 제거되였을 때 푸른빛이 관안에 남아있는 기체를 지나갔으며 전기가 흐르기 시작하였다. 보다 낮은 압력에서 이 빛은 완전히 사라지고 이상한 푸르스름한 빛이 관안의 음극반대쪽의 관끝에 나타났다.

이 실험은 전극들사이에 배치된 임의의 장애물이 유리벽우에 예리한 그림자를 던진다는것을 보여주었다.

이것은 그 무엇인가가 음극에서 나와 양극으로 날아가고있다는것을 말해주었다.

톰슨은 후날 음극선들이 전자들로 이루어져있다고 결론지었는데 그것이 바로 그가 관찰한 효과를 일으켰던것이다.

그는 전자들의 단위질량에 해당하는 전기량을 측정할수 있었다. 이 특징적인 량을 립자의 전하 대 질량비라고 부른다.

# 보다 복잡한 양극선

1886년 베를린에서 연구를 진행한 도이췰란드의 물리학자 골드슈타인은 관안의 음극이 구멍들로 채워져있다면 양전기를 띤 두번째 종류의 선이 관으로 흐를수 있다는것을 알게 되였다. 그러나 이 선들은 반대방향으로 즉 음극으로 향하며 그것들이 구멍을 지날 때 기체속에서 밝은 빛흐름을 나타내였다.

음극선들은 전자들로 이루어져있었으나 양극선들은 보다 더 복잡할것이라고 생각되였다.

대전된 립자들의 흐름의 본질을 조사하기 위한 표준기술은 그것들을 두개의 자극사이로 지나보내는것이였다.

전기적으로 대전된 운동하는 립자들은 자기마당을 지날 때 경로가 구부러진다는것이 알려져있었는데 구부림량은 질량에 대한 전하의 비와 속도에 의존한다는것이 알려져있었다. 즉 보다 무거운 립자들의 경로는 가벼운 립자들의 경로보다 적게 구부러지며 보다 빠른 립자들의 경로는 느린 립자들의 경로보다 적게 구부러진다. 그러나 대전립자는 전기마당에 의해서도 영향을 받는다.

두 종류의 마당 즉 자기마당과 전기마당의 결합을 리용하는 이 힘든 실험에서 톰슨은 양극선들을 이루는 대전립자들을 정확히 갈라내고 확인할수 있었다. 톰슨은 음극선을 이루는 전자들은 관안에서 음극으로부터 배척당하는 힘을 받는다고 믿고있었다.

그때 분명히 양전기를 띤 립자들은 음극선들과의 충돌로 기체속에서 형성된것이였다. 원자가 전자를 잃으면 《이온》이라고 부르는 양전기를 띤 립자로 된다.

이 양극선들이 사진필림우에 부딪쳐서 이루어진 자리길들을 조사함으로써 톰슨은 양전기를 띤 립자들의 질량을 결정할수 있었다. 실례로 적은 량의 희유기체인 네온이 관안에 있을 때 두개의 완전히 다른 네온의 원자질량들이 얻어졌다. 하나는 20원자단위이고 다

른 하나는 22원자단위였다. 이것들은 두개의 네온동위원소였다.
톰슨의 연구는 현대원자리론의 창시에서 중요한 단계로 되였다. 양전하와 음전하들이 원자안에서 어떻게 배렬되여있는가에 대한 그의 생각은 틀린것이였지만 그의 연구는 라더퍼드가 동적모형을 개척할수 있게 하였다.
사람들이 곧 광범히 받아들인 라더퍼드의 모형에 의하면 원자에서는 핵안에 있는 양성자들과 핵둘레를 돌고있는 음전기를 띤 전자들이 평형을 이루고있다.
극히 가벼운 전자들은 모든 원소들의 화학적특성들을 결정한다. 때문에 서로 다른 원자질량을 가진 동위원소들은 서로 다른 질량의 핵들을 가져야 한다.
라더퍼드의 모형에 의하면 매개 동위원소들의 핵들은 정확히 같은 수의 무거운 양성자들을 가져야 하므로 세번째 종류의 립자인 무거우나 전기적으로 중성인 립자 역시 핵안에 있어야 한다.
20년후에 중성자라고 부르는 세번째 립자가 발견되여 라더퍼드의 예견이 확증되였다.
결국 동위원소들이란 그 원소의 다른 안정한 표준원자들과 핵안에 있는 전체 중성자들의 수가 차이나는 원소의 원자들이라는것을 알게 되였다.
실천에서 어떤 원소들의 동위원소들은 여러가지 목적에 리용되고있다. 실례로 고고학자들은 4개의 알려진 탄소동위원소들중 두개의 탄소를 리용하여 수천년전에 형성된 물체의 년대들을 결정하고있다.
방사성동위원소들은 의학적진단에서 사람몸안의 화학적인 추적자로서 리용되고있다.
또한 가장 가벼운 원소인 수소의 3개 동위원소들의 쌍들을 융합하는 방법으로 오염되지 않은 에네르기원천들을 얻을수 있다는 희망을 가져다주었다.
1913년에 톰슨은 양전하의 연구와 화학동위원소의 발견에 대한 연구결과를 종합하여 발표하였다.
…다중전하가 존재하는것은 원자가나 혹은 원자의 화학적특성과

관련되여있는것처럼 보이지 않는다.

…탄소, 질소, 산소, 염소, 헬리움, 원자량이 22인 새로운 기체인 네온과 아르곤, 크립톤, 수은과 같이 화학적특성들에서 차이나는 원소들은 모두 다중전하를 가지고있다.

내 생각에는 이러한 다중전하들이 자주 불활성기체원자들에서 나타난다는 사실은 그것들이 그 어떤 화학결합과정에 의해 생겨나지 않는다는것을 보여준다고 보아진다.

다중전하가 존재한다는것과 그것의 크기는 원자가나 화학적특성과 관련된다기보다 원자의 질량과 관련된다는 결론을 주는것 같다.

실례로 내가 실험한 가장 무거운 원자인 수은원자는 8개정도의 전하들을 가질수 있으며 크립톤은 5개정도, 아르곤은 3개, 네온은 2개정도 등을 가질수 있다는것을 찾아냈다.

이러한 다중전하가 나타나는 경우에는 이온화과정에 대체로 처음에 원자가 한개 전하를 가지든지 또는 최대전하수를 가지며 실례로 수은증기의 이온화과정에 처음에는 단일전하 또는 8중전하가 나타나며 5중전하를 가지는 전하의 경우에는 8중전하로부터 시작하여 음극관에 있는 관을 지나갈 때 3중전하를 상실한다. …

# 목성의 큰 적색반점

큰 적색반점을 발견한것으로 인정되는 이딸리아천문학자인 좌이안 도메니코 카씨니(1625－1721년)는 개선된 망원경을 리용하여 목성의 남반구에서 현재 큰 적색반점으로 불리우고있는 모습을 관찰하였다. 그는 행성둘레에서 이러한 모습의 운동을 리용하여 높은 정확도로 목성의 회전속도를 결정하였다.

큰 적색반점일수 있다는 목성의 남반구에서의 특성을 처음으로 관찰한 영국의 물리학자인 로버트 후크, 카씨니가 리용한 긴 초점거리를 가진 망원경을 구성한 이딸리아의 렌즈연마자이며 망원경제작자인 쥬제뻬 캄빠니(1635－1715년)가 이에 대하여 연구하였다.

## 반점은 어떻게 생겼는가?

목성에서 큰 적색반점이 1665년에 처음으로 관찰된 이래 천문학자들에게는 그것이 여전히 수수께끼로 남아있었다. 사람들은 고분해능망원경이 개발되고 개선된 17세기 중엽에야 반점을 볼수 있게 되였다. 반점의 크기와 그 색갈은 처음에 관찰한 때로부터 천천히 변화되였다. 영국의 물리학자 로버트 후크는 1664년에 목성의 남반구에서 큰 닭알모양의 모습을 본데 대하여 처음으로 보고하였다. 후크가 본 닭알모양은 비록 그것의 색갈에 대하여서는 언급하지 못하였지만 반점이라고 믿게 되였다.

…큰 적색반점의 발견에 대하여 믿게 된 이딸리아의 천문학자 도메니코 카씨니는 1665년에 그것을 관찰하였다. 그 시기에 그

는 이딸리아 볼로냐종합대학에서 수학 및 천문학교수로 일하고있었다.

그는 1664년초에 목성의 반점들을 보았으나 이 반점들이 정확히 갈릴레이가 그 시기에 관찰한 목성의 가장 큰 달들의 그림자들이라고 성급하게 생각하였다. 하여 카씨니는 《이상한 반점》을 《큰 영구적인 반점》이라고 하였다.

카씨니는 로마의 쥬제뻬 캄빠니가 만든 새로운 능력이 큰 망원경을 리용하여 하늘을 관찰했기때문에 천문학적발견들을 할수 있었다. 캄빠니와 그의 형은 렌즈 특히 아주 긴 초점거리와 작은 곡률을 가진 렌즈들을 연마하고 닦는데서 전문가들이였다. 그 작은 곡률때문에 이 렌즈들은 예리한 곡률을 가지는 렌즈들이 보여주는 광학적문제들로 인한 손실을 피할수 있었다. 이리하여 그것들은 하늘의 물체들의 보다 예리한 영상을 제공하였다. 카씨니의 망원경들에는 목성, 토성, 화성, 금성을 연구하기 위하여 긴 초점을 가진 렌즈들이 적용되였다.

이 새로운 망원경이 큰 배률을 가졌고 영상이 투명하였기때문에 1664년초에 카씨니는 많은 중요한 발견들을 할수 있은것이다.

반점은 목성의 남반구인 적도보다 약 22° 남쪽에 위치하고있는데 카씨니가 발견한 시기부터 계속 나타났다. 목성은 주로 수소와 헬리움으로 구성된 기체행성이다. 목성의 겉면에 나타나고있는것은 지구에서 볼 때 정확히 구름층이다. 그러므로 큰 적색반점은 목성겉면우에 있는 반점이 아니라 목성의 대기안에서 높은 곳에 있는 폭풍이다. 목성의 대기꼭대기에는 이 높은 구름들에서 볼수 있는 반점들과 많은 다른 색을 띤 띠들이 있다. 큰 적색반점은 가장 크고 가장 쉽게 볼수 있는 모습들이다.

반점은 지구에서 태풍이 일 때 높고낮은 온도와 압력들사이의 호상작용에 의해 일어나는 거대한 태풍과 같은 폭풍이라고 생각하고있다. 반점안에서 구름들의 꼭대기는 린접한 구름들보다 약5mile 더 높이 뻗어있으며 그것들보다 더 차다. 지구우에서 태풍들은 반점보다 그 크기가 훨씬 작으며 몇분동안만 지속된다. 더우기 지구우에서 태풍은 《회오리바람》 즉 그것들은 낮은 압력체계들이다.

반점은 반회오리 즉 고압계이다.

지구에서 태풍들은 륙지우를 지날 때 천천히 약해지므로 일부 과학자들은 목성의 반점은 륙지우를 지나지 않기때문에 지속된다고 추측한다. 목성에는 반점이 지나갈 륙지가 없는것이다.

다른 과학자들은 목성의 내부열원천이 한세기동안 지속되게 하는 이 거대한 폭풍을 위한 에네르기를 계속 내보내고있다고 주장한다.

길이가 약 31 450㎞, 너비가 약 16 650㎞로 측정되는 닭알모양의 반점은 너무 커서 3개의 지구를 포함할수 있다. 그것의 크기와 색갈은 해마다 변한다. 반점은 6일을 주기로 하여 시계바늘과 반대방향으로 회전한다. 류사한 구조가 토성과 해왕성에서도 발견되였다.

# 카씨니의 측정

좌이안 도메니코 카씨니는 행성탐험가라고 말할수 있다.

1664년 7월 이딸리아의 북부도시인 볼로냐종합대학 천문학교수 카씨니는 목성은 완전한 구가 아니며 그것의 극들이 평평하게 되여있다는 자기의 첫 중요한 발견을 하였다.

다음 몇년에 걸쳐 그는 목성의 회전주기를 측정하였다.

카씨니는 목성이 회전할 때 반점이 행성둘레로 움직인다는것을 알게 되였을 때 반점이 목성둘레로 완전히 돌아가는데 얼마나 오래 걸리는가를 측정할수 있으며 그에 기초하여 축에 대한 행성의 회전주기를 결정할수 있다는것을 알았다.

목성의 회전주기에 대하여 그가 얻은 값은 9시간 56분이였는데 1665년에 그 결과가 발표되였다.

카씨니의 값은 현대의 기구로 얻을수 있는 가장 좋은 값과 몇분밖에 차이나지 않는다.

그는 또한 목성의 위성들을 관찰하였으며 그자신이 측정에서 모순을 발견하였다. 그는 그러한 모순은 빛이 유한한 속도를 가지는데 그 원인이 있다고 보았다. 그러나 그는 후에 자기의 생각을 부

정하게 되였다.

1676년에 단마르크의 천문학자 뢰메르는 빛속도를 계산하기 위하여 카씨니의 측정자료들을 리용하였다.

1666년에 카씨니는 화성의 겉면특성을 관찰하였다.

그는 또한 이러한 특성을 리용하여 행성의 회전주기를 측정하였으며 지금 리용되고있는 주기와 3분정도 차이나는 24시간 40분의 값을 얻어냈다.

그는 금성의 회전주기를 계산하려고 시도하여 23시간 20분이라는 값을 얻어냈다. 그러나 카씨니가 어떻게 이러한 계산을 했는가 하는것은 명백치 않다.

금성이 밝은 구름들로 완전히 덮여있다는것과 그 회전주기는 레이다가 출현한 다음에야 명백해졌다.

카씨니는 목성의 제2위성인 유로파에 대한 측정들로 하여 유명해져 새로 조직된 빠리천문대에 초청되였다. 빠리에서 카씨니는 토성의 두개의 위성인 야페투스와 레아를 발견하였다.

1675년에 그는 토성의 고리가 지금은 카씨니경계라고 불리우고있는 어두운 틈으로 분리되여 나누어져있다는것을 발견하였다.

1677년에 카씨니는 토성의 극들이 평평하다는것을 증명했으며 1684년에는 두개의 위성들인 다이온과 테티스를 더 발견하였다.

1705년에 그는 토성의 고리가 딴딴한 원반이 아니라 행성둘레로 돌고있는 작은 물체들의 무리라는것을 정확히 확증하였다. 카씨니는 한생 목성을 계속 관찰하였다.

약 1690년에 그는 목성의 대기가 《미분회전》인 다른것들과 다른 속도로 행성둘레에서 일부 특징적인 운동을 나타낸다는것을 말한 첫 사람이였다.

카씨니는 또한 목성에 부딪치는 혜성의 효과들을 보았다.

1690년 9월 5일과 9월 23일사이에 그는 행성의 대기에서 나타나는 특성을 관찰하였다. 그 특성은 1994년에 관찰된 20개의 혜성쪼각들이 행성에 부딪친것과 류사하다.

일본의 천문학자들인 이시 따베와 쥬니찌 와다나베는 1690년

의 류사한 혜성과 같은 충격효과들을 관찰한것을 포함한 카씨니의 도형들을 해석하였다.

카씨니는 큰 적색반점의 발견에 기초하여 목성, 토성, 화성들의 정확한 측정을 얻는 기술을 개발할수 있게 되였다. 이 기술들은 행성들, 달들, 소행성들의 회전속도를 측정하기 위하여 현대천문학자들이 지금도 적용하고있다.

카씨니가 발견한 기체별행성들의 연구를 위하여 미국의 국가항공우주국은 1997년 10월에 발사한 카씨니우주비행선을 토성이라고 이름 붙였다.

1878년에 목성의 큰 적색반점이라는 이름이 붙었는데 그것은 세계의 관찰들이 그것의 색갈들이 대단히 센 붉은색쪽으로 변화되기때문에 그렇게 이름을 붙인것이였다.

과학자들은 붉은색쪽으로의 변화된 색갈은 류황과 린을 포함하는 화학원소들때문이라고 생각하였으나 색이 변화되는 원인은 리해할수 없었다.

반점은 얼마나 긴 폭풍들이 목성의 대기에 남아있을수 있는가 하는 증거물을 제공한것으로 하여 300년이상 지속되면서 행성으로서의 목성에 대한 보다 깊은 리해를 주는데 이바지하였다.

이렇듯 오랜 기간에 하나의 폭풍이 어떻게 발생하고 진화하며 존재하는가에 대한 문제를 행성과학자들은 다시 생각하게 되였다.

카씨니는 또한 1672년과 1707년사이에 몇개의 혜성들을 발견했으며 목성의 큰 적색반점도 발견하였다.

빠리천문대에서 몇년동안 카씨니는 빠리의 학자집단으로 알려진 크리스티안 후이겐스, 올 뢰메르와 다른 사람들을 포함하는 유명한 학자집단을 조직하였다.

공학을 배운 그는 큰물조건에 대한 몇개의 론문을 발표하고 물과 운하의 감독으로 복무했으며 우르반항 요새의 장관으로 되였다.

후날 그의 아들은 빠리천문대책임자로 되였으며 그의 손자와 증손자 역시 이름있는 천문학자로 되였다.

# 케플레르의 행성운동법칙

요한네스 케플레르는 튀코 브라헤를 계승한 천문학자로서 아주 정확한 천문학적인 자료들을 리용하여 여러해동안 연구한 결과에 단독으로 행성운동의 3가지 법칙을 얻어냈다. 이 법칙들이 발견되지 못했더라면 아이저크 뉴톤은 만유인력법칙을 발견하지 못하였을것이다.

행성운동의 3가지 법칙을 얻어낸 도이췰란드의 천문학자인 요한네스 케플레르, 세밀한 관찰에 기초하여 천문학을 발전시키는데 이바지한 단마르크의 천문학자인 튀코 브라헤, 케플레르의 세번째 법칙을 리용하여 만유인력법칙을 추리한 영국의 물리학자이며 수학자인 아이저크 뉴톤, 태양중심우주모형의 옹호자인 미꼴라이 꼬뻬르니끄가 이 연구에 이바지하였다.

## 행성운동의 법칙들

1400년동안 유지해온 프톨레마이오스의 지구중심우주에 처음으로 강하게 도전한 꼬뻬르니끄의 태양중심모형은 《천체의 회전에 대하여》로 1543년에 발표되였다. 공교롭게도 그리스사람들과 같이 꼬뻬르니끄는 행성들은 원둘레에서 움직인다고 생각하였기때문에 그의 리론은 정확하지 못하였으며 고대모형에 비하여 실제적인 개선이 없었다. 케플레르는 오래동안 꾸준한 연구로 행성자리길들의 정확한 수학적형태 즉 행성운동의 첫번째 법칙과 행성운동의 두개의 추가적인 법칙을 얻어낼수 있었다.

튀코 브라헤는 그리스사람들이래 천문학을 개선한 첫 사람이

였는데 망원경이 발명되기 몇년전에 놀랄만한 정확도를 가지고 행성운동을 측정하면서 행성운동을 부지런히 관찰하는데 한생을 바치였다. 케플레르는 튀코의 생의 마지막 2년기간 그의 조수로 일하였으며 1601년에 튀코가 사망하기 전까지 수집한 방대한 자료들을 연구하였다. 케플레르는 오래동안 꼬뻬르니끄의 리론이 옳다고 생각하고있었으나 후에는 거기에 심중한 결함이 있다는것을 알게 되였다. 하여 그는 행성자리길들의 문제를 풀기 위하여 놀랄만한 수학적기능으로 방향을 돌리였다. 그는 태양계의 비밀을 푸는것은 우주의 커다란 비밀을 리해하는것이라고 생각하고있었다.

케플레르는 그후 튀코의 위치를 차지하고 연구를 진행하여 단독으로 과학적인 천문학을 창설하였으며 광학기구들을 발명하였다.

케플레르는 꼬뻬르니끄의 단순한 체계인 태양에 대한 등속원운동체계에 화성의 자리길에 대한 튀코의 자료들을 혼합하려고 함으로써 행성자리길들의 천문학적해석을 시작하였다. 그러나 4년동안에 걸쳐 케플레르는 련속 실패하였다.

튀코의 자료들은 꼬뻬르니끄가 예언한 자리길밖으로 8″에 해당한 활등의 자리길에 놓여있었는데 이것은 적어도 4자리정도 측정정확도를 초과하는 오차였다. 이러한 차이를 스쳐보낼것을 바라지 않은 케플레르는 꼬뻬르니끄의 체계가 심한 결함을 가지고있다고 가정하지 않을수 없었다. 그것을 수정하기 위하여서는 꼬뻬르니끄가 고대그리스인들로부터 직접 내세운 하나의 가정 즉 행성들은 원자리길우에서 등속으로 운동한다는 가정을 버려야만 했다. 시험과 실패를 거쳐 그는 행성의 자리길들이 B. C. 3세기때부터 수학자들에게 알려진 간단한 기하학적도형인 타원과 일치한다는것을 발견하였다.

이러한 고대의 지식으로부터 얻어진 케플레르의 행성자리길의 첫번째 법칙은 모든 행성들은 그것들의 타원들의 초점들중 하나에 태양이 있는 타원경로를 따라서 운동한다는것이다. 이 법칙은 그자체로서는 그 자리길안에서 행성의 속도가 자리길의 위치에 어떻게 관계되는가에 대한 정보를 전혀 제공하지 못하기때문에 완전하지 못하다. 이러한 관계가 발견된다면 임의의 행성운동의 특징을 아주 간결하게 표현할수 있을것이였다. 케플레

르는 이러한 관계가 반드시 존재하며 혹은 발견될수 있다는 담보는 없었지만 우주에는 반드시 정연한 질서가 있을것이라는 생각으로부터 그러한 관계가 있다고 굳게 믿고있었다. 완고한 집요성과 높은 솜씨로 하여 케플레르는 행성운동의 두번째 법칙으로 불리우는 다른 하나의 간단한 법칙을 내놓았다. 즉 임의의 주어진 시간간격동안에 행성과 태양을 련결하는 가상적인 선은 타원경로를 따라 어디서나 같은 면적을 쓸어나간다. 이때 케플레르는 지금 동경벡토르로 불리우는 벡토르를 생각해냈다. 이러한 법칙의 결과로서 태양으로부터 행성의 위치까지의 거리와 그 위치에서의 행성의 속도를 곱한 량은 일정하다는것이 흘러나온다. 케플레르이전에는 복잡한 원자리길들의 조합에 의하여 행성들의 운동을 복잡한 기하학적방법으로 취급하고있었지만 케플레르의 법칙들이 발견됨으로써 간단한 방법으로 행성들의 운동을 예언할수 있게 되였다. 케플레르는 이러한 법칙들을 렬거한 책을 몇년동안 정성들여 만들어 1606년에 발표할 준비를 하였다. 그러나 부유한 후원자가 없었기때문에 책의 인쇄는 1608년에야 시작되여 다음해 여름에 《새로운 천문학》으로 발표되였다. 행성운동에 관한 케플레르의 첫째, 둘째 법칙은 주의깊은 관찰로 자연현상속에 숨어있는 비밀의 실머리를 찾아내는 예민하고도 기묘한 결합에 의해 발견되였다. 그 법칙들은 현상적으로 행성의 위치들을 예언하는데서 성공적이였으나 케플레르는 서로 다른 행성들의 자리길들을 련결하는 총체적인 형식이 없기때문에 불만족스러웠다. 행성들의 운동이 련관되여야 한다는 충분한 근거는 없었지만 자연은 단순하며 조화롭다는 확신을 가지고있은 케플레르는 그러한 련관이 반드시 존재한다고 믿고있었다.

그후 그는 서로 다른 행성들의 자리길을 련결짓는 공식이 실제로 존재한다는것 즉 행성운동의 제3법칙을 발견하였다. 이 법칙은 태양에 대한 행성의 주기의 2제곱은 행성자리길의 평균반경의 3제곱에 비례한다는것을 말해준다.

케플레르는 1619년에 《세계의 조화》를 발표하였다.

케플레르의 3가지 법칙들은 현대천문학을 구성하는 기초로 될뿐

아니라 전기적힘들의 호상작용에 의하여 운동하는 대전립자를 포함하는 모든 형태의 자리길들에 대하여 그 정확성이 검증되였다. 그러나 케플레르는 후날 뉴톤이 발견한 미적분학을 아직 모르고있었고 3가지 법칙들이 서로 외견상 련관되여있다는것을 보지 못하였으며 자기 법칙의 진짜의의를 결코 깨닫지 못하였다.

그것들사이의 련관은 뉴톤이 타원자리길은 운동과 중력에 관한 자기의 법칙들의 론리적결과들중의 하나라는것을 증명한 80년후에 밝혀졌다.

케플레르의 세번째 법칙은 뉴톤에게 만유인력법칙을 추리하고 증명하는 최종적인 실마리를 제공한것으로서 그 실제적인 중요성은 이루 헤아릴수없이 컸다.

케플레르는 천문학에서의 연구로 이름을 떨쳤지만 그의 보다 중요한 기여는 천문학에 대한 혁신적인 태도로서 그것은 물리학의 앞으로의 발전에 커다란 영향을 주었다.

이것은 미리 예견된 기하학적모형에 우주를 맞추려는 시도로부터 관찰에 기초를 둔 수학적관계에로의 전환이였다.

엄밀한 정량적자료에 기초하여 수학적형태로 물리적법칙들을 공식화하려는 그의 성공적인 시도는 물리적법칙들을 수학적방정식들로 표시하는 새로운 길을 열어놓았던것이다.

17세기초에 발표된 케플레르의 3가지 운동법칙은 뉴톤의 만유인력법칙의 기초로 되였다.

제1법칙: 행성은 2개의 초점들중 하나가 태양에 있는 타원자리길을 따라 태양둘레를 돈다.

제2법칙: 태양으로부터 행성까지 련결하는 직선은 행성이 타원을 따라 운동할 때 같은 시간에 같은 면적을 쓸면서 지나간다.

제3법칙: 두개의 행성들에 대한 회전주기들의 2제곱의 비는 그것들의 긴 반경들의 3제곱의 비와 같다. 즉 행성이 자기의 자리길를 한바퀴 도는데 걸리는 시간은 태양으로부터 그것의 평균거리의 2분의 3제곱에 비례한다.

물체가 태양으로부터 보다 멀리 있을수록 보다 천천히 움직인다.

# 기체운동론

다니엘 베르누이는 기체의 운동특성에 기초하여 기체의 거동을 설명하기 위하여 처음으로 체계적인 리론을 발전시켰다. 수학적방법을 리용하여 그는 한편으로는 기체분자들과 용기의 벽들사이의 많은 작은 충돌과 전체 기체에 의해 용기에 미치는 전체 압력사이의 관계식을 찾아내였다.

스위스의 수학자이며 과학자인 다니엘 베르누이, 로버트 보일, 스코틀랜드물리학자인 제임즈 클라크 막스웰(1831－1879년), 네데를란드물리학자인 요한네스 디데리끄 반 데르 왈스(1837－1923년)가 이에 대한 연구에 기여하였다.

## 분자들은 어떻게 운동하는가?

17세기 과학자들은 기체들이 설명할수 없는 이상한 특성들을 가지고있다는데 주목을 돌렸다. 특히 기체들은 어떤 의미에서는 흐를수 있는 류체이며 불규칙적인 모양을 가진 체적을 채우지만 그것들은 또한 닫긴 그릇의 벽에 힘을 미친다. 기체의 이러한 압력특성은 피스톤을 설치한 그릇안에 기체를 넣었을 때 그 피스톤이 기체에 의하여 유지된다는것을 통하여 쉽게 보여줄수 있다.

아일랜드의 화학자 로버트 보일은 기체의 특성들의 일부를 설명하기 위한 리론을 발전시키는데서 첫걸음을 내디디였다. 보일은 주의깊은 실험학자였는데 피스톤을 올려놓은 용기안에서 유지되는 기체의 거동을 연구하였다. 그는 일정한 온도로 그릇과 기체를 유지하고 기체의 체적과 압력을 측정하였다. 1660년에 보일은 일정

한 온도에서 유지되는 기체의 압력과 체적의 련속적인 측정결과를 발표하였다. 이러한 결과들은 기체의 체적이 압력에 반비례한다는것을 보여주었는데 그것은 지금 보일의 법칙으로 불리우고있다. 보일의 측정 이전에 물리학자들은 용수철의 력학적특성들을 연구하였다. 그것은 용수철을 《압축하는데》 요구되는 힘은 용수철이 보다 짧아질수록 선형적으로 증가한다는것이다. 보일은 용수철의 길이가 그릇안에서의 기체의 체적과 류사하며 용수철이 받는 힘은 그릇안의 기체가 준 힘과 류사하다는것을 제기하였다. 이리하여 보일은 기체들은 어떤 의미에서는 압축되거나 변형될 때 압축정도에 비례하는 힘이 미친다고 제기하였다.

보일은 또한 기체의 체적은 그것이 가열될 때 불어난다는것을 알았다. 그러나 보일의 시대에 온도척도가 잘 설정되지 못하였으므로 그는 기체의 온도와 체적사이의 수학적관계를 결정할수 없었다. 도이췰란드의 과학자인 화렌화이트는 1714년에 온도와 체적사이의 관계를 엄밀히 결정할수 있는 정확하고 재현성있는 온도계로서 수은온도계를 발명하였다.

보일의 법칙을 출발점으로 하여 네데를란드출신의 스위스수학자이며 물리학자인 다니엘 베르누이는 그 법칙이 작용하는 물리적원인을 해명하려고 하였다. 그 시기 로씨야에서 공부하고있던 베르누이는 공기를 이루는 개별적분자들의 거동으로서 공기의 압력을 리해한 첫 과학자였다. 주의깊은 련속적인 측정을 진행한 보일과는 달리 그는 기체가 주는 압력을 설명하기 위하여 리론적방법을 취하였다. 그는 바닥이 막히고 꼭대기에 피스톤을 설치한 수직으로 배치된 원통관을 고찰하였다. 우아래로 자유로이 움직일수 있으나 기체가 새여나갈수 없게 한 피스톤은 그우에 무게를 실었다. 피스톤과 무게(짐)는 원통안에 있는 기체의 압력에 의해 유지되였다.

베르누이는 기체는 피스톤과 충돌하면서 매우 빨리 움직이는 분자들이라고 불리우는 개별적인 대상들로 구성되여있다고 제기하였다. 피스톤에 부딪친 후 기체분자들은 반대방향으로 되돌아온다. 매개 충돌은 피스톤에 순간적인 힘을 준다. 기체에 의해 피스톤에

작용하는 거시적인 압력은 이 모든 순간충돌들의 힘의 합을 나타낸다. 이리하여 기체들은 류체처럼 거동하며 피스톤이 우로 움직일 때보다 큰 체적을 차지하며 가능한껏 용기의 체적을 증가시킨다. 그러나 분자들의 속도가 일정하다면 용기의 체적이 증가할 때 개별적인 기체분자가 용기를 가로질러 움직여 피스톤을 때리는데 요구되는 시간은 길어진다. 그러므로 임의의 주어진 시간간격동안에 보다 적은 충돌이 일어나게 되며 피스톤에 주는 압력은 그에 비례하여 줄어든다. 베르누이의 모형은 그의 《류체력학》에서 한개 장으로 발표되였는데 그것은 기체의 거시적특성이 분자의 운동에 의존한다는데로부터 《운동론》이라고 불리운다.

베르누이의 운동론은 그 시기에 광범히 리용되지 못하고있었다. 대다수 과학자들은 기체에서 분자들은 어떤 알려지지 않은 힘의 작용으로 어떤 거리에서 서로 반발하면서 공간에 더 많이 혹은 더 적게 머물러있다고 생각하고있었다. 영국의 물리학자 뉴톤은 기체의 압력과 체적사이의 반비례관계는 기체분자들사이의 척력의 거꿀두제곱법칙으로부터 간단히 흘러나올수 있다는것을 보여주었다. 이리하여 베르누이의 시대에 채용된 모형은 기체분자들이 본질상 어떤 위치에 고정되여있다는것이였다. 이것 역시 온도와 운동에네르기사이의 밀접한 관계가 완전히 알려지지 않은것과 마찬가지로 엄밀한 온도관련실험이 상대적으로 진행되지 못한데 그 원인이 있었다.

베르누이의 운동론에서 하나의 부족한 점은 기체속에서 개별적인 분자들의 속도를 측정할수 없다는것이였다. 하여 매개 분자들이 피스톤에 주는 압력은 계산될수 없었다. 베르누이는 매개 분자들의 속도를 결정할 필요가 없다고 생각하였다. 거시적인 압력은 분자들의 평균속도, 분자들의 질량 그리고 충돌속도(충돌비률)를 알면 간단히 결정할수 있을것이다. 그러나 베르누이는 압력과 체적이 측정될수 있는 거시적인 속성이라는것과 마찬가지로 거시적인 속성인 온도에 대한 기체분자의 속도관계를 결정할수 없었다.

베르누이가 가정한 기체를 이루는 개별적분자들의 특성과 기체의 거시적인 거동사이의 련계를 과학계에서 광범히 받아들이게 된것은 1850년대이후였다. 1859년에 스코틀랜드물리학자 막

스웰은 그 문제에 달라붙었다. 막스웰은 기체분자들에 대한 베르누이의 모형을 완전한 《립성립자》로 받아들였다.

즉 기체분자들은 뉴톤의 운동법칙에 따르지만 그것들이 서로 충돌할 때 혹은 다른 물체와 부딪칠 때 에네르기손실이 없다고 보았던것이다.

막스웰은 작은 기체의 용기가 훨씬 많은 기체분자들을 유지할 때조차 뉴톤의 법칙을 리용하여 이러한 계를 해석해야 한다고 성급하게 생각하였다. 그러나 막스웰은 분자들의 운동의 미시적인 모형이 어떻게 극히 많은 분자들에 대하여 평균을 나타내는 기체들의 거시적인 특성과 관련되는가를 원리적으로 단순하게 리해할 필요가 있다는것을 알았다. 통계적방법을 리용하여 막스웰은 《속도분포함수》 즉 주어진 온도에서의 기체들에 대하여 주어진 속도를 가지는 기체분자들의 수를 결정하는 함수를 찾아낼수 있었다. 기체들의 거동에 대한 현대적인 리해는 요한네스 디데리끄 반 데르 왈스에 의해 이루어졌는데 그는 베르누이에 의해 얻어진 결과들에 유한한 크기의 기체분자들과 지금은 반 데르 왈스힘이라고 불리우고있는 기체분자들사이의 작은 끌힘을 포함시킨 방정식으로서 압력과 체적, 온도를 련관시켰다. 반 데르 왈스는 이러한 연구성과로 하여 1910년에 노벨물리학상을 받았다.

베르누이의 기체운동론으로부터 리론물리학자들은 거시적척도의 물체들의 물리적특성들을 리해하는데서 큰 충격을 받게 되였다. 베르누이의 연구는 물리세계에 대한 몇가지 새로운 사상들을 받아들이게 하였다. 그는 처음으로 기체의 운동론을 전개하여 물체들의 거시적특성들을 그 물체들을 이루는 개별적인 립자들의 운동과 거동에 의해서 설명할수 있다는것을 제의하였던것이다.

이리하여 베르누이는 물질의 원자, 분자요소들의 거동을 관찰하면 물질의 거시적척도의 물리적특성들을 리해할수 있다는것을 보여주었다. 이러한 개념은 물리학의 많은 분야들에서 실례로 물질을 통한 전기전도, 열전도, 소리의 전달을 리해하는데서 중요하다. 더우기 베르누이는 통계학을 리용하여 자기의 리론적결과들을 표현하였다. 19세기에 통계학은 그자체의 정당성으로 하여 과학으로 발전하였

으며 물리과학에서 통계적공식들을 더욱더 많이 받아들이게 되였다.

통계물리학은 20세기에 물체를 이루는 립자들의 모든 특성들을 확률이라는 술어로써 표현하는 물리학분야인 량자력학의 발전과 관련하여 특별히 중요하였다.

다니엘 베르누이는 오랜 수학자, 물리학자들의 가정에서 1700년에 태여났다. 그의 아버지 요한은 미적분학전문가였다. 1705년에 다니엘의 삼촌 야꼬브가 죽자 요한은 스위스의 바젤종합대학에서 그가 맡았던 수학강좌장직을 맡게 되였다. 요한은 미적분학의 발견에 대한 아이저크 뉴톤과 고트프리드 윌헬름 라이브니쯔사이의 우선권에 대한 론쟁에 말려들게 되였으며 몇가지 특유한 문제의 풀이에서 라이브니쯔의 오유를 보여주었다. 1705년이후 요한은 리론 및 응용력학을 처음으로 연구하였다.

한편 다니엘은 1716년에 스승의 지위를 넘겨받았으며 아버지와 형 니콜라우스 2세로부터 수학을 배웠다. 무역견습생으로 되려는 시도가 실패하자 그는 몇개의 대학들에서 의학을 배웠으며 마지막에는 바젤에 있으면서 호흡과 관련한 론문으로 1721년에 박사학위를 받았다. 종합대학교수지위를 얻으려는 첫 시도가 실패하였으나 그가 1724년에 쓴 책 《수학련습》은 그의 지위를 높여주었다. 그는 확률에 대한 최초의 론문을 썼으며 진동에 대하여 연구하였다. 그리고 그의 가장 유명한 연구인 《류체력학》의 초고를 집필하여 자기의 운동론을 설명하였다. 그는 의학강의를 위해 바젤로 돌아왔으나 자기가 흥미를 가지는 대상들인 수학과 력학에 대하여 론문을 계속 발표하였다.

그런데 그의 아버지 요한은 자기 아들의 최초의 연구를 훔치여 먼저 공개함으로써 류체력학분야의 발견에 대한 우위를 차지하려고 하였다. 다니엘은 1750년에 물리학회 회장이 되였다. 그는 순수한 리론력학에 대한 연구에 집중하면서도 천연두왁찐의 유효성에 대한 유명한 연구를 진행하여 그것이 평균수명을 30년이상 늘일수 있을것이라고 주장하기도 하였다. 1776년에는 확률에 대한 몇건의 연구들을 발표하였다.

# 번개

폭풍구름들로부터 번개를 끌어내는 벤쟈민 프랭클린의 위험한 연띄우기실험은 이 자연현상이 전기현상이라는것을 명백히 보여주었다. 실험은 또한 단일물질전기리론이 앞으로 확증될것이며 류체와 마찬가지로 이 정전기에네르기가 한 물체로부터 다른 물체에로 넘어갈수 있다는것을 보여주었다.

벤쟈민 프랭클린의 아들이며 기사인 윌리암 프랭클린에 대한 이야기가 번개와 련관되여있다.

## 번개가 전기현상인가?

벤쟈민 프랭클린의 연실험은 서로 련관되여있는 두가지 문제들로부터 출발하였다. 그것은 전기의 본성이 무엇인가 하는것과 번개가 전기적현상인가 하는것이였다. 프랭클린은 이 연구에 앞서 전기에 대하여 관심을 가지게 된것은 아담 스펜써의 영향을 받았다고 자서전에 지적하였다.

스펜써는 1744년에 보쓰턴에서 강의를 하였으며 프랭클린의 초청으로 필라델피아에서도 강의를 하였다.

그후에 곧 프랭클린은 여러가지 전기적실험들을 시도하였으며 그에 대하여 영국에 있는 친구인 피터 콜린쓴에게 자주 편지로 전하였다. 콜린쓴은 왕립협회모임에서 이 편지를 읽고는 편지를 모아 《전기에 대한 실험과 관찰》이라는 제목으로 런던에서 출판하도록 도와주었다. 몇개의 언어로 번역된 두권으로 된 이 책으로 하여 유럽과 미국의 과학통신들에서 프랭클린의 명

성이 높아졌다.

1749년초에 프랭클린은 번개가 폭풍구름들로부터의 전기적방전이라고 생각하였다. 피터 콜린쓴에게 보낸 편지에서 그는 번개와 전기는 색갈, 운동의 구부림, 탁탁 튕기는 소리 등에서 류사성을 가지고있다는것을 지적하였다. 프랭클린은 번개가 전기라면 구름들이 어떻게 전기를 띠게 되는가에 대하여 알고싶었다. 그는 대양에서 발견된 소금립자들이 물을 마찰하여 대양의 겉면우에 전하를 산생시킨다고 추측하였다. 나아가서 그는 증발을 통하여 이 전하가 구름들로 떠오르고 그것들이 어떤 충돌을 하는 과정에 이 전하는 번개로 방전된다고 추측하였다.

프랭클린은 또한 뾰족한 탑들, 나무들 그리고 배의 돛과 같은 높은 물체들은 구름들로부터 전기적에네르기의 방전을 촉발시킬수 있다는것을 관찰하였다. 번개가 칠 때 생겨난 불길로부터 이러한 구조물들을 보호하기 위하여 그는 약 3m길이의 《침과 같이 예리하게 만든 철로 된 막대기들》을 세울것을 제기하였다. 높은 구조물들의 꼭대기에 설치한 이 장치들은 구름들로부터 《전기적불》을 앞질러서 끌어당길것이라고 생각하였다. 1752년 10월 19일에 알려진 연실험에 대한 그의 보고는 그의 번개봉에 관한 실험이 필라델피아에서 성공하였다는것을 말해준다. 하지만 그가 실지로 이러한 실험을 진행하였는가 하는것은 정확히 알수 없다.

그러나 1752년 6월에 21살난 아들 윌리암의 도움으로 프랭클린이 실지로 번개의 전기적본성에 대한 자기의 리론에 속하는 연시험을 진행하였다는것은 확실하다. 1752년 10월 19일로 날자가 적혀있는 콜린쓴에게 보낸 편지에서 그리고 같은 달에 발표된 론문에서 프랭클린은 우뢰비가 오는 동안 삼나무가름대들을 교차하여 펴놓은 명주실목수건으로 만든 연을 띄웠다고 발표하였다.

그것은 꼬리와 발을 가지고있었는데 발은 꼭대기로부터 안테나처럼 늘여놓은 철사로 만든것이였다. 연으로부터 내려오는 삼실의 보다 아래쪽 끝은 절연체인 명주천리봉으로 묶여져있었는데 그리봉에는 면끈에 련결된 철열쇠가 걸려있었고 이 면끈을 프랭클린이 손으로 쥐고있었다. 폭풍이 이는 동안 명주천쪼각과 열쇠가 젖

지 않게 하기 위하여 프랭클린은 연을 날리면서 출입구안쪽에 서 있었다. 그가 자기의 다른 손을 열쇠우공간으로 지나보냈을 때 불꽃이 열쇠로부터 그의 손가락관절을 향해 뛰여올랐다. 에네르기의 이러한 전달은 번개는 본질상 전기라는것을 확증하였다.

## 프랭클린은 무엇을 얻었는가?

프랭클린은 또한 연실험에서 뾰족한 끝을 가진 도체를 리용하여 단일물질전기리론에 대한 확신을 더 확고히 가지게 되였다. 프랭클린의 연실험시기에 류행되고있던 유럽의 리론은 전기는 두개의 개별적인 대립되는 류동체들인 류출물과 주입물로 이루어져있다는것이였다. 연실험은 프랭클린이 본질상 음전기라고 부른 폭풍구름들의 보다 아래부분의 전하를 측정할수 있게 함으로써 이 유명한 리론을 반박하였다. 이러한 실험은 전기는 양으로 대전된 물질과 음으로 대전된 물질사이에 그것들을 통하여 순환하는 하나의 《전기적류동체》로 이루어져있다는 그의 리론을 안받침해주었다. 물질의 전도성에 기초하여 서로 다른 물질들을 분류하면서 프랭클린은 다음과 같이 결론지었다. 즉 《전기적불을 잘 전도하는 물질은 그 물질안으로 그 불을 쉽게 받아들이며 모든 부분들에로 그 전체를 통하여 그것을 전도한다.》

더우기 연실험은 번개를 이루는 《전기적류동체》는 한 물체로부터 다른 물체에로 지나갈수 있다는것을 보여주었다. 이 전도원리에 프랭클린은 몹시 매혹되여 연실험후 석달동안 자기 집 굴뚝에 설치한 피뢰침을 리용하여 정교한 실험을 진행하였다. 이 막대기는 계단이 있는 우묵한 아래로 드리운 유리로 둘러싸인 철사를 통하여 종이 있는 곳까지 전기를 운반했다. 그 종은 다른 철사에 의해 두번째 종까지 련결되였다. 종은 둘다 피뢰침이 전하를 받을 때에는 언제나 울릴것이다. 때로는 너무 센 전류가 두 종사이를 지나가므로 프랭클린의 집안의 전체 계단이 마치도 《사람들이 핀을 찾아낼수 있

을 정도로 태양빛을 내듯》이 밝아졌다. 전해져오는 말에 의하면 프랭클린의 안해는 이러한 시끄러운 기구들이나 자기 집을 전기의 연구를 위한 실험실로 전환하는 남편의 노력을 전혀 좋아하지 않았다.
그러나 세기를 거쳐 반복되는 그림주제들과 인쇄물들에 실린 프랭클린의 연실험은 지금 세계문화의 기념물로 존경받고있다.
1767년초에 《전기의 력사와 현상태》에서 죠지프 프리스틀리는 이 일화는 아이저크 뉴톤시기이래 전체 자연철학범위에서 있은 아마도 가장 으뜸가는 발견이라고 묘사하였다. 그러나 물리학력사의 견지에서 번개를 가지고 진행한 프랭클린의 연실험결과는 오늘날 프리스틀리가 생각한것만큼 의의가 있다고 보지 않는다.
연실험이 있기 한달전에 프랑스에서 토마스 느랑코이스 드 아이바드가 이미 번개의 전기적본성을 증명했다는것을 프랭클린은 알지 못하였다. 그러나 프랑스의 이러한 증명은 프랭클린에게 도움을 주었다. 왜냐하면 그것은 프랭클린이 큰 의의를 부여한 저서 《미국의 필라델피아에서 진행한 전기에 대한 실험들과 관찰》 1751년의 1권에서 보고한 발견들의 기초로 되였기때문이다.
프랭클린은 번개가 전기라는것을 증명하는데서 두번째 자리를 차지하였으나 그것은 문제가 아니였다. 필라델피아에서 그의 실례는 상당히 극적이였으며 전세계적으로 많은 사람들의 마음을 사로잡았기때문에 유럽의 많은 사람들도 그의 실험을 열광적으로 되풀이하였다. 필라델피아에서의 연일화는 결국 물리학연구에서 프랭클린의 두가지 중요한 기여를 안받침하는 증거물인것으로 하여 의의가 있었다. 그것은 전기에 대한 그의 단일물질리론과 오늘도 여전히 리용되고있는 끝이 뾰족하게 만든 피뢰침의 발명이다.
프랭클린의 연실험이 있은 2년후인 1754년에 런던왕립협회는 전기연구를 진행한 그를 회원으로 받아들이였다. 전기에 대한 프랭클린의 명성도 유럽대륙에 급격히 퍼지였다.
미국에서 프랭클린의 명성을 떨치게 한것은 그의 단일물질리론보다도 연우에 놓인 끝이 뾰족한 피뢰침이였다. 전세계적표준으로 되는 프랭클린의 피뢰침착상은 유럽의 끝이 둔한 모형보다 더 효과적이였다. 더우기 프랭클린의 피뢰침은 번개에 의해 일어나는

전기적화재들로부터 건물들을 보호하는데 적용되였으며 그것의 효과성은 미국인들에게만 가치있는것이 아니였다.

자서전에서 벤져민 프랭클린은 전기에 대한 자기의 실험들을 상기하였다.

…1746년에 보쓰턴에 있으면서 나는 최근에 스코틀랜드에서 온 스펜써박사를 만났다. 그는 나에게 몇가지 전기적실험들을 보여주었는데 잘 숙련되지 못하여 불완전하게 수행되였다.

그러나 나에게는 아주 새로운 대상에 대한것이였으므로 그것들은 나를 놀래웠으며 동시에 기쁘게 하였다.

필라델피아로 돌아온 후 곧 우리는 런던왕립협회의 친구인 콜린쓴으로부터 실험장치들을 만드는데 리용할 가치가 있는 유리관을 선사받았다.

나는 내가 보쓰턴에서 본것을 되풀이할 기회를 얻었다. … 나의 집은 자주 이 새로운 광경을 보기 위하여 온 사람들로 몇시간동안 가득차있었다는데 대하여 말하게 된다. …

콜린쓴이 유리관과 같은것 등을 준데 대하여 나는 고맙게 여기였다. 내가 그것을 리용하여 성공한데 대하여 알려주는것이 옳다고 생각하고 우리의 실험들의 가치를 포함하는 몇통의 편지들을 그에게 보냈다.

그는 왕립협회에서 그것들을 읽었는데 처음에는 자기들의 학보에 내보낼 정도로 주목할만한 가치가 있다고 생각하지 않았다.

…나는 전기와 동일한 번개에 대하여 쓴 하나의 론문을 나와 안면이 있으며 그 협회의 한 성원인 미첼박사에게 보냈는데 그는 그것을 읽고 전문가로서 비웃는 편지를 나에게 보냈다.

보다 갑작스럽고 일반적인 명성을 준것은 하나의 실험에서 얻은 성과였다. 실험물리학을 위한 기구를 가지고있었고 그 과학분야에서 강의를 진행한 한 사람이 자기가 필라델피아실험이라고 부른 실험을 되풀이하는데 착수하였다.

그 실험을 왕궁앞에서 진행한 후에 호기심을 가진 빠리의 사람들이 그것을 보기 위하여 모여들었다.

# 뫼스바우에르효과

과학자들은 뫼스봐우에르효과를 리용하여 아인슈타인의 일반상대성리론에 의하여 예언된 중력변이를 확증하였다.

1961년에 노벨물리학상을 받은 도이췰란드물리학자 루돌프 루드위히 뫼스바우에르(1929－), 알베르트 아인슈타인, 미국의 물리학자들인 로버트 비비안 폰드(1919년－)와 글렌 아. 레브까가 이에 대하여 연구하였다.

# 아인슈타인의 시공간

1916년에 아인슈타인은 일반상대성리론을 공개하였다. 이 리론에 의하면 중력은 임의의 대상이나 사건의 위치를 결정할수 있는 련속체인 시공간이라고 불리우는 모습의 결과이라는것이다. 아인슈타인에 의하면 시공간은 3개의 공간차원들과 네번째 차원인 시간으로 이루어진다.

1665년에 영국의 물리학자이며 수학자인 뉴톤은 만유인력법칙을 발견하였다. 이 법칙과 뉴톤의 운동법칙들은 락하하는 물체들과 자리길을 따라 도는 물체들의 운동을 예언하는데서 아주 성공적이였다.

뉴톤의 법칙들의 가장 극적인 성공들중의 하나는 행성인 해왕성이 발견된 1846년에 일어났다.

행성은 뉴톤의 법칙들에 의해 예언된 위치의 1°안에서 발견되였다. 뉴톤의 만유인력법칙으로부터 행성인 수성의 자리길이 태양의 둘레로 매우 천천히 회전할것이라고 예언하였지만 이 예언들과 일치하지 않는 자리길의 작은 전치량이 관측되였다.

과학협회의 일부 사람들은 뉴톤의 법칙의 타당성을 의심하기 시작하였다. 어떤 다른 행성이 수성의 자리길안에 존재할수 있다고 추측했으며 또는 태양이 그것의 중심부에 대하여 대칭이 아니라고 제의하기도 하였다. 그러나 일반상대성리론의 구부러진 시공간을 수성의 자리길문제에 적용하였을 때 관찰과 계산은 일치하였다.

아인슈타인의 중력의 개념을 리해하기 위해 길게 펼쳐진 그리고 4개의 모퉁이들이 단단히 유지된 한장의 판대기를 상상해본다. 판대기의 중심에 놓인 공은 판대기에 약간한 압력을 줄것이다. 질량이 큰 공일수록 더 깊이 누를것이다. 눌리운 가까이에서 굴러가는 다른 공은 기본적으로 눌리운 곡선을 따라 굴러갈것이다. 태양이 자기 주위의 시공간을 구부리며 수성은 시공간적으로 이 곡선을 따른다는것이 아인슈타인의 주장이였다.

일반상대성리론의 다른 확증들은 그 리론이 나온지 얼마후에 얻어졌다.

1919년에 영국의 천문학자인 아써 스탠리 에딩턴은 아프리카의 해변가에 떨어져있는 섬에로 려행하여 태양의 완전일식을 사진찍었다. 사진들은 일반상대성리론의 예언과 일치하게 별들이 배경마당에서 이동한것을 명백히 보여주었다.

아인슈타인은 별들로부터 오는 빛이 태양에 의해서 생겨난 시공간의 곡률때문에 구부러질것이라고 말하였다.

에딩턴의 연구는 아인슈타인이 옳았다는것을 증명하였다. 일반상대성리론은 또한 《중력적색변이》 혹은 《아인슈타인변이》로 알려진 현상들을 예언하였다.

리론에 의하면 빛이 별의 중력과 반대쪽으로 겉면으로부터 달아날 때 그것의 에네르기의 일부를 잃게 된다. 이것은 빛의 파장들의 값을 증가시킨다. 가장 긴 보임빛파장들은 적색이기때문에 늘어난 파장들은 더욱 붉게 즉 《적색변이》를 나타낼것이다.

일반상대성리론의 초기의 모든 시험들은 본질상 천문학적인 실험들이였다. 그러나 1960년에 실험실에서 그 리론의 타당성을 실험할 계획이 세워졌다.

이 실험은 뫼스바우에르효과를 리용하여 진행되였다.

1958년에 도이췰란드의 물리학자인 루돌프 루드위히 뫼스바우에르는 원자핵들을 감도가 매우 높은 시계로 리용할수 있는 방법을 발견하였다.

원자들은 고유한 파장들과 주파수들의 빛을 복사하기때문에 그것들은 시계로서의 기능을 수행할수 있다. 어떤 원소들의 방사성동위원소들이 $\gamma$선을 내보낸다면 그것은 정확히 같은 에네르기를 가지는 다른 $\gamma$선을 흡수할수 있다는것이 알려져있다. 그러나 이 사실 하나만으로는 적색변이를 측정할수 없다.

임의의 원소의 시편안에서 열에네르기는 원자핵들이 진동을 일으키도록 한다.

이 운동은 $\gamma$선주파수들에서 적색변이를 일으킬것이다. 핵이 $\gamma$선을 내보내거나 흡수하는 경우에 약간한 반충운동이 일어난다. 이런 운동도 역시 적색변이를 일으킨다.

만일 문제로 되는 원자핵들이 적절한 형태의 결정안에 묻혀있다면 그때 그것을 둘러싼 주위의 원자들이 주는 힘은 열운동에 의한 진동을 약화시킬것이며 $\gamma$선들을 방출하거나 흡수하는 과정에 사실상 반충이 없게 된다는것이 바로 뫼스바우에르의 발견이였다.

중력적색변이실험은 이러한 발견의 많은 응용들중의 하나였으며 그것으로 하여 뫼스바우에르는 1961년에 노벨물리학상을 받았다.

1960년에 로버트 비비안 폰드와 글렌 아. 레브까는 실험실조건하에서 처음으로 중력적색변이의 정확한 측정을 주는 실험을 진행하였다.

실험은 미국동북부의 케임브리지에 있는 하바드종합대학의 제퍼슨의 물리실험실에서 수행되였다.

지하실에 배치한 방사성원천으로부터 방출된 $\gamma$선은 여러층의 마루들에 뚫리운 구멍을 통하여 웃쪽으로 나와 건물의 바깥벽에 비스듬히 걸쳐지은 지붕집안에 배치한 흡수기에 흡수된다. 총길이 22.5m에 대하여 계산된 적색변이는 근사적으로 $2\times10^{-15}$이였다. 방출기로부터 나온 $\gamma$선들의 적색변이가 있다면 이 선들은 그것을

흡수하는 결정에 의하여 흡수되지 못할것이다. 바닥에서 방출된 $\gamma$선들은 중력적색변이를 당하며 좀처럼 흡수되지 않았다. 방출기는 오르내릴수 있는 수압승강기에 배치되여있었다. 그것을 리용하여 복사원천을 우로 천천히 움직이면서 중력적색변이를 보상하는 도플레르변이를 설정하여 흡수가 일어나게 하였다.

폰드－레브까의 실험이전에는 일반상대성리론에 의해 예언된 중력적색변이의 예언들은 실험실조건하에서는 증명되지 못하였다. 그것은 적색변이를 측정하자면 극히 작은 시간의 증가를 측정하여야 한다는데 있었다.

1958년에 뫼스바우에르효과의 발견과 함께 중력적색변이의 측정이 가능하게 되였다.

이 실험은 일반상대성리론의 중력적색변이예언을 확증하였을뿐아니라 절대시간과 같은것은 없다는 아인슈타인의 주장도 확증하였다. 원자들은 일정한 파장과 주파수를 가진 빛을 내보낸다. 이 주파수를 측정함으로써 정확한 시간을 측정할수 있다.

폰드와 레브까는 원자로부터 나오는 복사는 중력과 반대로 향하여 움직일 때 적색변이된다는것을 발견하였다.

임의의 형태의 전자기복사가 적색변이할 때 그것의 파장들은 보다 길어지며 그것의 주파수는 낮아진다. 다시말하여 폰드와 레브까는 중력은 시간의 흐름을 떠지게 한다는것을 발견하였다.

이리하여 전우주적인 표준시간의 개념은 의미가 없다는것이 확증되게 되였다.

## 어디에 필요한가?

1961년에 노벨물리학상을 받았을 때 루돌프 뫼스바우에르는 캘리포니아기술연구소의 상급연구사였다.

대중언론계는 뫼스바우에르의 젊음과 《통찰력있는 검은 눈》의 아름다운 용모를 강조하면서 그가 캘리포니아연구소 구내에서

교원이라기보다 학생처럼 보이였다는것을 특별히 서술하였다.

거의 모든 기사들은 일반상대성리론을 증명하기 위한 뫼스바우에르효과의 실험적리용을 렬거하였다.

물리학, 화학, 지질학 그리고 생물학에서 $\gamma$선들의 무반충방출과 흡수에 대한 뫼스바우에르의 발견의 충격이 매우 컸다.

뫼스바우에르효과는 화학에서 여러가지 분자들에서의 화학결합들의 기하학적구조를 탐색하는데 리용되였다.

생물학에서는 혈색소(헤모글로빈)안에서 철과 산소의 호상작용의 세부들을 연구하는데 리용되였다.

지질학에서는 뫼스바우에르기술들을 달의 바위들에서의 철의 거동을 조사하는데 리용하였다.

그 효과는 고대야금술과 기원전의 도자기제조술에서 윤택나는 겉면들에 적용된 기술들을 조사하는데 리용되였다.

종합적으로 말하면 뫼스바우에르효과는 모든 과학분야에서 널리 리용되는 기술로 되였다.

# 중성자

1935년에 노벨물리학상을 받은 영국의 물리학자인 제임즈 채드위크(1891－1974년)는 대전되지 않은 원자안에 전하를 가지고있지 않으며 양성자의 질량과 근사적으로 같은 질량을 가지는 소립자가 있다는것을 발견하였다.

미국화학자인 윌리암 드라퍼 하킨스(1873－1957년), 영국물리학자인 어니스트 라더퍼드, 1935년에 노벨물리학상을 공동으로 소유한 프랑스물리학자인 프레데리끄 졸리오(1900－1958년)와 그의 안해 이렌느 졸리오－큐리(1897－1956년), 도이췰란드물리학자 왈터 보드(1891－1957년)가 이에 대하여 연구하였다.

# 질량결손

단어 《원자》는 《나눌수 없다》는것을 의미하지만 19세기 후반기의 발견들은 원자는 나눌수 있으며 대단히 복잡한 구조를 가진다는것을 보여주었다. 1914년에 영국의 물리학자 라더퍼드는 자기자신과 그 이전의 많은 과학자들의 연구에 기초하여 원자모형을 발전시켰다. 이 모형에 의하면 원자의 거의 모든 질량과 모든 양전기는 원자의 작은 부분인 핵에 집중되여있다. 라더퍼드는 핵의 직경은 원자직경의 1만분의 1이라고 평가하였다. 결국 원자와 관련되여있는 전자는 핵보다 훨씬 큰 체적을 차지하고있으며 부의 전하를 가지지만 핵의 직경은 대단히 작다. 그는 양성자는 핵에서 양전하나르개라고 이름붙였다.

이러한 관점에서 보면 당시에는 두개의 원소립자들 즉 양전하를

가진 양성자와 양전하와 같은 크기의 음전하를 가진 전자가 있었다. 그러므로 원자는 다만 두가지 립자들로 이루어져야 한다. 실례로 헬리움은 두개의 양성자와 두개의 전자들을 가진다. 그러나 헬리움원자의 질량은 수소원자질량의 4배로 알려져있었기때문에 헬리움원자핵의 질량을 설명하기 위하여서는 두개의 양성자들이 더 요구되였다. 두개의 양성자의 전하와 같은 핵의 전하를 유지하기 위하여서는 추가된 두개의 양성자들의 전하를 중화시키는 두개의 전자들이 핵안에 있어야 한다고 제기했다.

1920년초에 라더퍼드는 양성자와 같은 질량을 가지고있지만 대전되지 않은 다른 원소립자가 있어야 한다고 추측하였다. 아마도 그것은 결국은 양성자와 전자의 결합으로 산생될것이라고 보았다. 1921년에 윌리암 드라퍼 하킨스는 이 가상적인 립자를 전기적으로 중성이였으므로 중성자라고 이름을 붙이였다.

영국의 물리학자 채드위크는 라더퍼드의 권고에 따라 캐븐디쉬실험실에서 중성자에 대한 연구를 시작하였다.

처음에 그의 연구는 성공하지 못하였다. 그러나 그는 한번의 연구로 끝나지 않았다.

1930년에 도이췰란드의 왈터 보드는 베릴리움과 붕소를 높은 에네르기를 가진 $\alpha$립자로 포격할 때 전하는 띠지 않고 큰 투과능력을 가진 복사가 생겨난다는것을 발견하였다.

그로부터 불과 2년후에 이랜느 졸리오－큐리와 프레드리끄 졸리오는 이러한 복사가 파라핀으로부터 양성자들을 쫓아낼수 있다는것을 보고했다.

과학자들은 그 복사가 $\gamma$선의 형태 즉 대단히 높은 주파수를 가진 전자기에네르기의 한 형태라고 결론지었다.

프랑스의 과학자들에 의해 수행된 실험들을 연구하고 채드위크는 즉시에 이 현상을 더 조사할 결심을 내렸다.

방사성연구에서 세계적인 권위자인 라더퍼드로부터 전자기학에 대한 강의를 받은 후에 그는 자기의 전공에서 오유를 범하지 않겠다고 결심하고 1911년에 그 과목에서 일류급최우등을 하였다.

그해에 라더퍼드는 20세기의 가장 중요한 과학적발견들중의

하나인 원자구조를 발견하였다.

1913년에 채드위크는 스승의 지위를 넘겨받았으며 도이췰란드의 한스 가이게르와 함께 방사능을 연구하도록 보낸 장학금을 받았다. 그는 $\beta$선들의 스펙트르가 련속이라는것을 발견하였다.

제1차 세계대전이 시작되자 채드위크는 군대에 징집되여 불리한 조건임에도 불구하고 도이췰란드의 치약상표를 리용하여 실험을 진행하였다.

1920년에는 몇년전에 모즐리에 의해 제출된 원자핵의 전하는 원자번호와 같다는 결과를 확증하였다.

전쟁후 그는 오랜 스승인 라더퍼드밑에서 케임브리지종합대학 캐븐디쉬실험실에서 일하였다. 거기서 그들은 $\alpha$립자의 충격을 리용하여 원소들을 연구하였다. 그는 붕소와 베릴리움을 플루토니움으로부터 나오는 $\alpha$립자로 포격할 때 이 두 물질로부터 나오는 신비스러운 복사가 수소를 포함하는 임의의 물질들로부터 양성자들을 쫓아낸다는것을 발견하였다.

그는 또한 알려지지 않은 복사로 포격한 질소원자가 얻은 에네르기를 계산하여 그 복사가 이미 보고된 $\gamma$선이 아니라는것을 발견하였다.

채드위크는 그때 이 실험결과들이 파라핀에서 떨어진 매개 양성자들이 근사적으로 같은 질량을 가진 알려지지 않은 립자와의 충돌을 당했다는 가정과 완전히 일치하다는것을 보여주었다.

채드위크는 자기마당속에서 이러한 립자들이 편기되지 않는다는데로부터 그것이 전하를 가지고있지 않다고 결론지었다.

그것이 이미 알려진 립자와 일치하지 않은데로부터 오래동안 찾고있던 중성자여야 한다고 결론하였다.

1932년의 중성자의 발견은 핵물리학의 시초 즉 원자핵의 구조의 연구를 가져왔다.

대다수 원소들의 핵들은 극히 안정한데로부터 《핵립자들》사이에 알려지지 않은 호상작용힘이 있다고 보게 되였다.

중성자가 발견되기 전까기 물리학에서 알려진 힘들은 중력, 전기 및 자기적힘들이였다.

1932년 이후에 새로운 종류의 힘 즉 핵힘이라고 부르는것이 있어야 한다는것이 명백해졌다.

중성자의 발견과 함께 원자의 구조 특히 핵의 구조를 보다 더 명백히 리해하게 되였다.

도이췰란드의 물리학자 웨르네르 하이젠베르그는 원자핵이 양성자와 중성자들로 이루어져있다고 생각하면 많은 난점들을 해결할수 있다는것을 보여주었다.

그 내용은 헬리움핵에서 두개의 중성자들이 추가적인 질량을 만든다는것이였다.

중성자들은 또한 동위원소들 즉 서로 다른 원자량을 가진 같은 원소의 원자들에 대한 설명을 제공한다.

1939년에 우라니움원자를 중성자로 포격할 때 그것들은 핵분렬을 일으킨다는것이 발견되였다. 그이후 곧 물리학자들은 이러한 핵분렬이 많은 량의 에네르기를 방출할것이라는것을 보여주었다.

또한 핵분렬과정이 추가적인 중성자들을 산생시킨다는것을 발견하였을 때 과학자들은 거대한 능력의 련쇄반응이 가능하다는것을 인식하게 되였다.

결국 중성자의 발견으로 원자시대가 도래하게 되였다.

채드위크의 가장 중요한 과학적발견은 1932년에 중성자의 발견이였는데 그것으로 하여 1935년에 노벨물리학상을 받았다.

중성자는 원자핵들이 어떤 립자들로 이루어져있는가 하는 당시까지 풀수 없었던 문제들을 설명하였을뿐아니라 우라니움에서 핵반응에 대한 페르미의 연구를 촉진시켰는데 그것은 1938년 오토 한과 프리쯔 스트라스맨에 의한 핵분렬의 발견을 가져왔다.

1935년에 채드위크는 리버풀종합대학 물리학부장으로 됨으로써 자기 실험실을 꾸릴수 있는 기회를 가지게 되였으며 큰 에네르기를 얻는 핵립자를 가속시키는 기계인 싸이클로트론을 만들어 표적에 그 립자묶음을 쪼이는 실험을 진행하였다.

# 핵분렬

이딸리아출신 미국물리학자인 엔리꼬 페르미(1901－1954년), 카나다물리학자인 월터 헨리 진(1906－), 미국물리학자들인 헤르베르트 엘. 앤더슨(1914－1980년), 아써 할리 콤프톤이 핵과 관련한 연구로 세상에 이름을 남기였다.

## 《초우라니움》원소들

1938년 12월에 로마의 물리학교수인 엔리꼬 페르미는 1938년의 노벨물리학상을 받는 기회를 리용하여 무쏠리니의 통치를 피해 자기 조국 이딸리아를 떠나 뉴욕의 컬람비어종합대학에서 연구사업을 계속하였다.

페르미와 로마의 그의 동료들은 여러가지 화학원소들이 중성자의 포격을 받을 때 생겨나는 새로운 핵들을 연구하고있었다.

1934년에 우라니움에 대한 실험들은 새로운 방사성동위원소들을 산생시켰다.

페르미와 그의 협력자들은 새로운 동위원소가 원소주기표의 우라니움 바로 아래의 그 어떤 원소들에도 속하지 않는다는것을 화학적으로 보여주었다. 그들은 그것들이 우라니움보다 더 무거운 첫 원소를 산생시켰다고 생각하였다.

초우라니움원소의 사상은 과학계와 대중보도계를 틀어잡았다.

실례로 도이췰란드의 녀성화학자인 이다 노다크가 페르미는 자기의 새로운 방사성이 우라니움핵이 둘로 분렬될 때 생겨나는 보다 가벼운 화학원소 즉 비초우라니움원소로부터 나온다는 가능

성을 배제하지 않았다는것을 제기하는 론문을 발표하였지만 그 녀성학자의 생각은 크게 무시당하였다.

페르미와 빠리의 이랜느 쥴리오－큐리와 파울 사비취 그리고 베를린의 오토 한, 리스 마이트너, 프리즈 스트라스맨을 포함하는 과학자들은 중성자에 의하여 포격당한 우라니움의 효과들을 계속 연구하였다.

모든 실험들은 우라니움이 포격을 받을 때 생겨나는 몇가지 서로 다른 방사성종류들의 목록을 점차 완성하였다.

1938년 12월 한은 마이트너에게 편지를 보내여 자기와 스트라스맨은 중성자에 의한 우라니움의 타격은 초우라니움원소만이 아니라 보다 가벼운 원소들을 산생시킨다는 의심할바 없는 증거를 쥐였다는것을 알리였다.

마이트너와 그 녀성의 조카인 단마르크의 코뻰하븐의 물리학자 닐스 보르와 함께 일하는 젊은 물리학자인 오토 로버트 프리쉬는 우라니움핵이 중성자를 흡수할 때 핵은 두개의 가벼운 핵과 일부 과잉의 중성자들로 분렬되며 두 원자사이의 전형적인 화학반응에서 내놓는 에네르기의 몇억배의 에네르기를 방출한다는 결론을 내렸다.

# 련쇄반응과 첫 원자로

페르미와 마쟈르의 물리학자 레오 스찔라드는 한번의 핵분렬에서 나오는 중성자들이 두번째 핵분렬에 리용된다면 결과적으로는 련쇄반응이 일어나며 그것은 에네르기를 산생시키는데 리용될수 있다는것을 즉시에 알아차렸다.

매번의 핵분렬이 적어도 두개의 핵분렬을 일으키고 그 매개가 또 적어도 두개의 핵분렬을 일으키는 식으로, 기하급수적으로 증폭이 일어날수 있다면 련쇄반응은 강력한 폭발을 낳을것이다.

스찔라드는 히틀러도이췰란드가 이러한 원리에 기초한 초무기를 만들어낼수 있다는데 대하여 걱정하였다.

그는 페르미를 포함한 미국동료들에게 핵분렬에 대한 자기들의 실험결과들의 공개를 지연시킬것을 설복하였다.

한편 물리학자들은 방출된 에네르기, 산생되는 새로운 핵들의 수, 매개 핵분렬에서 나오는 중성자들의 수를 측정하였다.

1939년 8월에 스찔라드와 그의 동료인 마쟈르의 망명객인 유겐 파울 위그너는 물리학자 아인슈타인을 납득시켜 그가 미국 루즈벨트대통령에게 편지를 보내여 초무기개발의 가능성을 고려하는 연구계획을 내오도록 하였다.

매우 드문 동위원소 우라니움－235만이 핵분렬을 당하며 자연계에 존재하는 우라니움의 99.3%를 차지하는 같은 동위원소인 우라니움－238은 핵분렬을 일으키지 않는다는것을 물리학자들이 밝혀냈을 때 미국정부는 망설이게 되였다.

1941년 7월에 페르미와 그의 연구집단은 련쇄반응을 일으키도록 설계된 흑연－우라니움《원자로》를 구상하여 실험에 착수하라는 통지를 받았다.

1941년 12월에 미국의 아써 할리 콤프톤은 그 계획을 책임지게 되였다.

그는 1941년초에 시카고종합대학에 과학연구설비들을 이동했다. 원자로의 건설은 그해 12월에 건물로 둘러싸인 안마당에서 시작되였는데 그 마당의 면적은 원자로건설에 요구되는 약 350t의 흑연, 약 40t의 산화우라니움 그리고 약 6t의 우라니움금속을 보관하는데 충분한 면적이였다.

월터 헨리 진과 헤르베르트 앤더슨이 이끄는 건설집단은 흑연과 우라니움덩어리들을 기계로 움직여 쌓아올리면서 하루도 중단없이 계속 작업하였다.

중성자들을 흡수하는 조종봉들은 원자로안에 설치되여있었는데 련쇄반응이 시작되여 시간이 되면 회수할수 있게 되여있었다. 조종봉들은 매일 회수되였고 측정은 밀페된 계가 어떻게 련쇄반응을 유지하는가를 보는데로 돌려졌다.

1942년 12월 1일 오후 일찍부터 진행된 시카고에서의 시험들은 림계치수가 급격히 다가들고있다는것을 보여주었다.

오후 4시에 월터 진의 조는 헤르베르트 앤더슨밑에서 일하는 사람들과 교대하였다. 조금후에 흑연과 우라니움덩어리들의 마지막층이 원자로에 설치되였다. 교대후에 남아있은 진과 앤더슨은 원자로가 자체로 유지되고있는 한계안에서 몇가지 작용을 측정하였다. …이날저녁에 앤더슨과 진은 야간조가 원자로에 배치한 우라니움과 흑연층이 련쇄반응을 지탱하는데 충분할것이라고 결론지었다.

1942년 12월 2일에 인류는 처음으로 자체유지핵련쇄반응을 조종하였다. 이 수요일의 아침에 건물로 둘러싸인 마당안에 사람들이 모여들기 시작하였다. 마당의 북쪽끝에는 약 3m길이의 로대가 있었다.

페르미, 진, 앤더슨과 콤프톤은 로대의 동쪽끝에 있는 기구둘레에 모여있었다. 나머지관찰자들은 작은 로대우에 꽉 들어차있었다. 아침 8시 30분에 페르미는 주요조종봉들을 회수할것을 지시했는데 중성자계수기들을 보기 위해 물리학자들이 모여들었을 때 마지막조종봉이 원자로밖으로 한걸음한걸음씩 천천히 움직였다.

11시 35분에 자동안전봉이 회수되였다. 오후 3시 25분경에 마지막조종봉의 최종걸음이 끝났다. 계수속도는 지수함수적으로 올라갔다. 오후 3시 53분에 페르미가 조종봉들을 제자리에 끼워넣으라고 명령할 때까지 반응이 유지되였다. 조종핵분렬련쇄반응은 성공했다. 그들은 새로운 원자시대를 열어놓았다는것을 느끼게 되였다.

원자로의 성공적인 동작은 물리학자들에게 핵분렬련쇄반응의 거동을 연구하기 위한 도구를 제공하였다.

림계질량과 물질에 의한 중성자의 흡수의 구체적내용들을 원자로를 리용하여 쉽게 측정할수 있은 이래 이러한 연구들은 원자폭탄의 설계와 제작에서 필수적이였다.

더우기 원자로들은 두번째 핵분렬동위원소인 플루토니움－239를 만들어냈고 그것을 생산하기 위한 큰 규모의 원자로들의 설계가 곧

진행되였다.

플루토니움을 얻는것은 원자탄제조를 위한 원료로서 우라니움－235를 농축하는것보다 더 능률적이였다.

마침내 핵분렬로부터 련속적으로 에네르기를 생산해낼수 있다는것이 증명되였으며 원자력발전소를 건설할수 있게 하였다.

조종봉이 조절되였다. 셈관은 찰칵찰칵 더욱더 빨리 계수되였다. … 2시 50분에 조종봉이 다른 다리로부터 나왔다. …

《6in 움직이라.》 하고 3시 20분에 페르미는 말하였다.

5분후에 페르미는 말하였다. 《다른 다리를 꺼내시오.》…

페르미는 1분동안에 중성자들의 총수와 증가속도를 계산하였다. 그는 말없이 랭정한 표정을 짓고 로그자로 몇가지 계산을 하였다. …마침내 페르미는 로그자를 닫으며 아주 행복에 겨워 소리쳤다.

《반응은 자체로 유지되고있다.》

《곡선은 지수함수적이다.》…

시간은 오후 3시 53분이였다. 갑자기 계수기들이 속력을 늦추었고 펜이 미끄러지면서 종이를 가로질러나갔다.

# 기름방울실험

미국물리학자인 로버트 앤드류스 밀리컨이 작은 기름방울에서의 전하를 측정하기 위하여 창안한 기름방울실험은 전자의 전하가 전기량의 기본단위라는것을 보여주었다.

허베이 플레쳐(1884－1981년)가 이에 대한 연구를 진행하였다.

## 전기량의 측정

작은 물방울이 나르는 전하의 첫 측정은 1897년에 영국의 케임브리지에서 진행되였다. 그 방법은 닫긴그릇안에서 이온화된 수증기구름의 락하속도를 재는것이였다. 1903년에 X선을 리용하여 축전지로 대전시킨 수평으로 놓인 판대기들사이에 구름을 만들어 냄으로써 실험은 개선되였다. 판대기들사이의 구름의 꼭대기겉면의 하강속도를 전원을 켰다껐다 하는 전기마당을 걸어주면서 측정하였다. 방법은 개선되였지만 그 방법은 구름꼭대기에서 불안정하고 불규칙적이였다. 구름겉면을 묘사하기 힘들었고 100% 요동한다는것이 측정에서 얻어졌다.

1909년에 시카고종합대학의 젊은 연구생인 허베이 플레쳐는 물리학박사론문 제목을 받기 위하여 지도교수인 로버트 앤드류스 밀리컨을 찾아갔다. 밀리컨은 영국의 케임브리지에서 앞서 진행한 전하측정을 개선할것을 제기하였다. 밀리컨의 초기 계획은 이온화된 구름의 보다 웃겉면의 락하속도를 증가시키는데 충분히 강할뿐아니라 전기마당의 극성이 반대로 걸렸을 때 구름꼭대기가 움직이지 않게 유지하는데 충분한 능력을 가진 전기마당을 리용하는것이였다.

이것은 증발속도를 쉽게 관찰할수 있게 할것이며 계산에서 보상할수 있을것이였다. 이러한 기술의 개선은 연구자가 고립된 작은 방울에 대한 측정을 할수 있게 하며 구름방법을 리용하는데 포함된 실험적불정확성과 가정들을 제거할것이다. 밀리컨의 착상은 작은 방울들의 증발속도를 측정하기 위하여 충분히 오래 공기중에 떠있도록 구름의 꼭대기걸면을 유지하는데 충분히 강한 10 000V의 작은 축전지들을 구성하는것이였다. 그러나 전기마당이 가해졌을 때 밀리컨은 아주 놀라게 되였다. 구름걸면꼭대기가 순간에 사라졌는데 실험결과는 이온화된 구름에 대한 락하속도를 측정하는것이였으므로 밀리컨은 이 결과를 완전한 실패로 보았다.

반복된 실험들은 구름이 사라질 때에는 언제나 얼마간의 작은 방울들이 남아있는다는것을 보여주었다. 그러나 본래 이 방울들은 방울들의 전하를 웃방향으로 끌어당기는 전기마당과 그것을 아래방향으로 당기는 중력 혹은 무게가 균형을 이루는 질량대 전하비를 가지고있었다. 이 방법은 《평형방울방법》으로 알려져있다. 실험과정에 밀리컨은 시야에서 일정한 방울들이 서서히 아래로 향하는 움직임으로부터 웃방향으로 운동을 변화하기 전에 해당한 전기마당을 없애자 곧 증발을 제거한다는것을 발견하였다. 이것은 보다 긴 주기동안 운동을 잴수 있는 가능성을 주었다. 스톡스의 법칙으로부터 그는 작은 방울의 무게를 알아냈다.

또한 전기마당의 세기를 알게 됨으로써 밀리컨은 그것의 무게와 평형을 이루는데 요구되는 전기량을 계산해냈다. 실험들은 곧 작은 방울들이 분수전하가 아니라 항상 옹근수(1, 2, 3, 4…)전하의 배수를 나타낸다는것을 보여주었다.

## 《작은 별들》

밀리컨과 플레쳐가 리용한 정확한 실험적배치는 현미경끝에 고정되여있는 2㎝ 혹은 3㎝의 체적을 가진 작은 통으로 구성되여있었다.

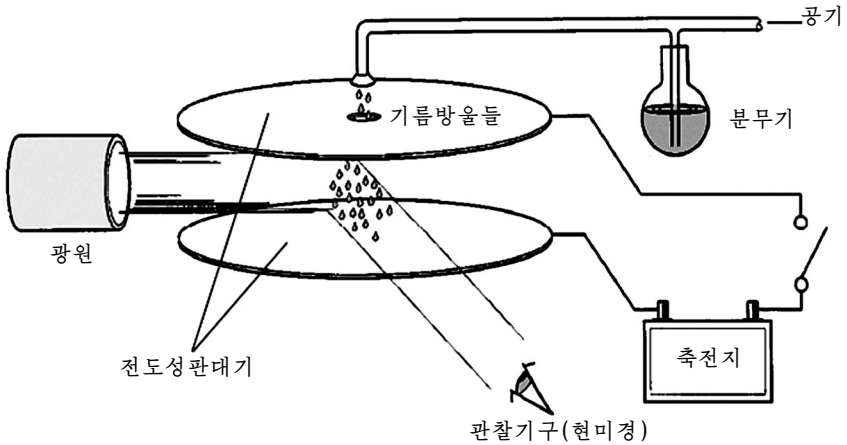



그림 9. 밀리컨의 기름방울실험

통으로부터 팽창실까지 통한 관이 조절할수 있는 작은 마개발브에 의해 꼭 닫겨져있는데 이 발브는 공기의 급속한 팽창을 일으켜 통안에 수증기구름을 형성하도록 한다.

량끝들 주변에 약 20㎝ 직경에 4㎜두께를 가진 두개의 황동전도성판대기들이 있다. 작은 구멍이 뚫어져있는 웃판대기는 분무기로부터 판대기들사이구역에 기름안개가 들어가도록 한다. 판대기들사이는 약 2㎝정도 분리되여있다. 두개의 집광렌즈를 가지고 작은 호광빛이 번갈아 판대기들사이를 지나가도록 하는 밝은 좁은 빛묶음을 만들었다.

높이차계라고 불리우는 기구가 현미경우에 배치되여있는데 그것은 현미경을 가장 좋은 조명에 해당된 적당한 각까지 올리거나 낮출수 있게 한다. 실천에서는 그것이 약 120°라는것이 밝혀졌다. 판대기의 분리는 포텐샬차를 적용하여 전기마당을 발생시킬수 있게 만들었다.

장치는 빛을 보내고 판대기들로부터 약 1m떨어진 현미경에 초점을 맞추고 다음에 축전지를 켜는 동안 웃판대기우에 기름을 분무하면서 동작하였다. 현미경을 통해 볼 때 기름방울들은 무지개색을 가진 《작은 별들》같이 보이였다.

전기마당이 처음에 가해졌을 때 기름방울들은 서로 다른 속도로 움직인다는것을 볼수 있다. 일부는 천천히 우로, 다른것들은 급속히 아래로 움직였다.

함안에서 무질서하게 교란된 공기분자들과 함께 아주 작은 방울들의 충돌에 의해 생겨난 지금은 브라운운동으로 알려진 작은 무질서한 앞뒤로의 운동은 작은 방울들에 겹쳐진다.

축전지의 극을 바꾸어 전기마당을 반대로 걸었을 때 아래방향으로 움직이던 방울들은 우로, 우로 움직이던 방울들은 아래로 움직였다. 실험은 이러한 운동이 일어나는것은 기름방울들의 일부는 음으로 대전되며 다른것들은 양전하를 띤다는데 있다는것을 보여주었다.

기름방울들은 기본전하량들의 옹근수배로만 증가하였으며 분수전하량들을 가지지 않는다는것이 관찰되였다.

이것은 얻어진 단위전하가 보다 작은 전하들로 쪼개지지 않으며 방울의 크기에 의존하지 않는다는것을 암시하고있었다. 이 정확한 값들은 전자의 전기량이 앞선 실험가들이 믿은것처럼 순수 통계적인 평균값이 아니였다는것을 보여주었다.

사실 실험은 전자가 기본적인 전기량을 가지는 유한한 크기의 립자라는데 대한 직접적인 증거로 되였다.

또한 고립된 전자들의 인력 혹은 척력 특성들을 조사할수 있게 하며 용액과 기체들에서의 전기적현상들이 실지에 있어서 같은 전하를 가지는 전기적단위들에 의해 일어난다는것을 검증할수 있게 했다.

밀리컨은 방울의 크기를 변화시키면서 전기마당의 세기를 엄밀히 조종할수 있게 하였다는 점에서 선행한 실험들을 개선하였다. 그는 또한 완전히 방전된 기름방울은 전기마당에 의해 대전되지 않을 때와 같은 속도로 떨어진다는것을 보여주었다.

이것은 그가 《전기》라고 부른 기본적인 무엇인가가 정확히 일정한 량들로만 기름방울에 존재하거나 제거될수 있다는것을 보여주었다.

# 광학

뉴톤이 케임브리지에서 대학생활을 하던 시기에 광학분야에 대한 연구가 진지하게 시작되였다. 렌즈가 들어있는 망원경에 대한 문제들에 관심을 가진 뉴톤은 첫 반사망원경을 구성하여 렌즈들과 프리즘들에 의해 생겨난 스펙트르를 연구하였다. 그가 쓴 책 《광학》은 그 분야의 기초에 놓인다.

현대광학을 창시한 도이췰란드의 천문학자인 요한네스 케플레르, 프랑스의 철학자, 수학자인 르네 데까르뜨, 영국의 로버트 후크, 네데를란드의 수학자, 물리학자인 크리스티안 후이겐스(1629－1695년)가 이에 대한 연구를 진행하였다.

# 반사망원경

일찌기 뉴톤은 자기가 다른 사람들보다 더 멀리 내다보았다면 그것은 《거인들의 어깨우에 서있었기때문이였다.》는 유명한 말을 하였다. 1661년부터 1665년까지 케임브리지종합대학 학생으로서 그는 요한 케플레르, 르네 데까르뜨와 과학혁명의 다른 거인들의 연구를 주의깊이 학습하였다. 이것은 그로 하여금 진지한 광학적실험들을 하도록 하였다. 그 과정에 내놓은 새로운 색리론에 대한 1672년의 론문은 런던왕립협회에 넘겨졌으며 오랜 진지한 론쟁끝에 드디여 왕립협회는 뉴톤의 《광학》을 출판하였다.

케임브리지에서 뉴톤은 현대광학의 연구를 시작한 케플레르의 책을 읽고 처음으로 광학에 대하여 알게 되였다. 뉴톤은 또한 운동하는 립자들로 이루어진 빛을 내는 매질에 의해 전달되는 압

력의 순간적인 전달이 빛이라고 보는 력학리론을 내놓은 데까르뜨의 광학에 대한 책도 읽었다. 데까르뜨는 굴절에서 빛의 구부림은 립자들이 보다 밴 매질을 지날 때 그것들의 속도가 커지기때문에 일어난다고 주장하였다. 그는 굴절로 생겨난 색갈들은 붉은색에 대해서는 보다 빠르고 푸른색에 대하여서는 보다 느린 립자들의 회전에 의해 일어난다고 제기하였다. 그에 의하면 색갈은 회전들에 의하여 생기는 순수한 균일한 흰빛의 변조였다. 케임브리지에서 뉴톤의 스승인 아이저크 바로우도 역시 색갈들은 흰빛의 변조들로부터 오는 결과라고 보았다.

뉴톤은 망원경을 구성하는데서 렌즈를 리용할 때 그 렌즈에서 굴절에 의해 색갈을 띤 무늬들로 둘러싸인 영상들을 나타내는 색갈에 흥미를 가지게 되였다. 그는 프리즘을 만들어 굴절에 의해 흰빛으로부터 어떻게 색갈들이 형성되는가 하는것을 연구하였다. 그는 창가림에 뚫린 작은 구멍으로 해빛을 통과시켜 프리즘을 지나 반대켠벽에로 굴절시켰다. 생겨난 스펙트르의 길이가 그것의 너비보다 훨씬 긴것을 보았을 때 그는 흰빛은 단색이 아니라 여러가지 색갈들의 혼합이며 스펙트르의 연장선은 서로 다른 각도로 굴절하는 서로 다른 색갈들로부터 형성된다는 사상을 발전시키기 시작하였다.

그후 뉴톤은 미적분공식과 만유인력법칙, 색갈에 대한 리론을 고향으로 가서 지낸 1665년과 1666년의 기간에 모두 생각해냈다.

케임브리지로 돌아온 후 뉴톤은 1668년에 첫 반사망원경을 만들어 굴절로 인한 영상의 이지러짐문제를 극복하였다. 망원경은 길이가 6in밖에 안되였지만 오목거울로 빛을 초점거리의 4배만큼 증폭시켰다. 망원경을 시험할 긴급한 요구가 왕립협회에서 제기되자 뉴톤은 개선된 9in길이의 변종을 만들어서 런던에 보냈다. 그에 대한 반향은 대단하였다. 왕립협회는 뉴톤의 발명의 가치에 대하여 책으로 쓸것을 요구했다. 하여 뉴톤은 1672년 3월에 왕립협회에 첫 과학론문인 《빛과 색들에 대한 새로운 리론》을 내놓았다. 이 론문으로 뉴톤은 평의원으로 선출되였다. 하지만 그것은 여러 과학자들로부터 비평편지들을 받게 되였다. 그에 대하여 뉴톤은 11개의 대답을 포함하는 긴 론쟁을 하지 않으면 안

되였다. 로버트 후크는 뉴톤의 적수였는데 그는 빛이 여러 성분으로 되여있다는 뉴톤의 주장을 부정하였고 오히려 후이겐스에 의해 발전된 여러가지 형태의 파동리론을 더 지지하였다.

뉴톤은 비평가들의 철학적 및 가설적인 론법들에 대하여 매우 불쾌해하였으며 과학은 원래 수학적이며 시험적인것이여야 한다고 주장하였다. 1684년에 그는 마침내 천문학자인 핼리의 설복에 의하여 걸작품인 《자연철학의 수학적원리》에서 자기의 운동법칙들과 만유인력법칙을 발표하였는데 그것은 과학의 가장 어려운 문제들을 해결하였으며 그 덕분에 뉴톤은 가장 높은 명성을 떨치게 되였다.

# 뉴톤의 광학

1703년에 후크가 죽은 후에 뉴톤은 왕립협회 회장으로 선출되였다. 1년후에 그는 감수성이 풍부한 보다 더 많은 독자들을 위하여 영어로 씌여진 《광학》을 발표하였다. 오늘도 그의 실험 및 수학적론법의 가치가 인정되고있는 이 책은 빛에 대한 뉴톤의 많은 실험들을 서술하고있다. 뉴톤이 진행한 프리즘에 의한 흰빛의 분해는 그가 자기 식으로 7가지색 즉 붉은색, 오렌지색, 누른색, 풀색, 푸른색, 남색, 보라색이라고 지적한 매개 색들의 굴절각과 관련되여있다. 그는 무지개에 대하여 처음으로 완전한 해석을 주었으며 주어진 물체들의 색갈을 모든 다른 색들을 흡수한 다음에 반사하는 색갈들의 결합으로 해석하였다.

《프린키피아》가 뉴톤이 총명한 수학자라는것을 확증했다면 그보다 읽기 쉬운 《광학》은 실험가로서의 그의 높은 기교를 보여주었다. 이 책의 3권중 첫번째 책에서 그는 스펙트르에 대한 실험들을 묘사하였다. 주요실험은 구멍을 통하여 스펙트르안의 하나의 색을 통과시키고 두번째 프리즘은 그 색을 변화시킴이 없이 같은 량을 굴절시킨다는것을 보여줌으로써 매개 색은 흰빛의 순수한 성분이라는것을 보여주었다. 다른 실험은 하나의 프리즘으로부터 분산된 스

펙트르들을 거꾸로 선 두번째 프리즘을 통과시킨 다음 이 빛들을 재결합하여 또다시 흰빛으로 만드는것이였다. 두번째 책에서 그는 후크가 처음으로 연구하였으나 지금은 《뉴톤고리》로 불리우는 렌즈가 하나의 평판유리를 누를 때 형성되는 색갈들을 조사하였다. 주의깊은 측정들은 렌즈와 유리사이의 틈인 접합부들의 간격이 색갈들과 관련되며 매개 고리에 따라 균일하게 증가한다는것을 보여주었다. 이 간격들을 리론적으로 결정하는것은 빛의 파장을 결정할수 있게 하는것에 가까왔지만 그는 이러한 가설을 피하였다. 세번째 책에서 그는 천문학자 그리말디의 1665년의 실험들을 론의하였는데 이 실험에서는 흰빛이 두개의 린접한 실틈들을 지날 때 색을 띤 에돌이무늬들이 나타났다. 뉴톤은 이 결과들을 파동이라는 말이 아니라 인력이라는 말로 설명하려고 하였다. 그는 빛의 립자론의 립장에 서있었기때문에 빛이 보다 밴 매질을 지날 때 더 빨리 전파된다는 결론을 이끌어냈다. 그러나 빛의 본성에 대한 보다 더 가설적인 결과들은 대다수가 《광학》의 1704년판의 마감에 있는 16개의 질문들에 수록되여있었다.

뉴톤의 《광학》은 보다 실험적이고 정량적인 형식으로 서술되였는데 뉴톤이전시기의 순수 리론적인 가설적방법과 대조적이였다. 그러나 《광학》의 1706년 라틴어판에서 그는 빛의 립자론을 시사하는 새로운 문제들을 추가하였으며 1717년과 1730년 영문판들은 이 문제들을 확장하였다. 뉴톤의 립자론은 다른 과학자들에게 영향을 주어 거의 한세기동안 파동론의 접수를 지연시켰다. 19세기에 빛의 파장이 마침내 측정되고 빛의 파동론에서 예언한것처럼 보다 밴 매질에서 빛속도가 떠진다는것을 보여주었다. 립자론과 파동론사이의 뉴톤의 초기의 상반되는 립장의 량립은 빛에 대한 현대 량자리론에 반영되여있는데 그것은 빛의 립자성과 파동성을 통합하고있다.

《광학》의 주의깊은 추리와 실험적인 연구방법은 문학에서 찬양을 받았다. 운동과 빛의 본성의 법칙들은 다같이 질서와 아름다움의 반영으로 보게 되였고 스펙트르는 서술적인 시인에 대한 새로운 상징으로 되였다. 《프린키피아》는 랭정한 철학으로 간주되였다면 《광학》은 명상을 요구하는 빛과 색에 대한 문학적상상을 열어놓았다.

# 흔들이

저명한 책인 《흔들이시계》에서 네데를란드물리학자인 크리스티안 후이겐스는 자기의 정확한 흔들이시계가 1656년에 어떻게 처음으로 만들어졌다는것과 그것의 정확성의 리면에 놓여있는 수학과 흔들이들의 특성들인 원심힘과 중력가속도를 설명하였다.

프랑스의 철학자, 수학자, 과학자인 마린 메르쎈느(1588−1648년), 갈릴레오 갈릴레이, 영국의 물리학자이며 수학자인 아이저크 뉴톤이 이에 대한 연구를 진행하였다.

# 자유락하하는 물체

크리스티안 후이겐스는 겨우 17살나던 때에 자유락하하는 물체가 지나간 거리가 그것이 떨어진 시간의 두제곱에 따라 증가한다는것을 보여주는 증거를 내놓았다. 그의 아버지는 이것을 그 시기 일류급과학자들중의 한사람인 자기의 동무인 마린 메르쎈느에게 통보하였다.

아주 기쁘고 깊은 인상을 받은 메르쎈느는 젊은 후이겐스를 고무하여 그가 흔들이의 특성에 대한 연구와 손에서 놓은 다음 1초동안에 자유락하하는 물체가 떨어진 거리를 측정하도록 하였다.

후이겐스는 여러해에 걸쳐 이 문제들에 대하여 연구하였다. 이것은 중력가속도를 측정하는 지금의 방법과 같다.

후이겐스는 그 결과들을 책 《흔들이시계》에 포함시켰다. 중력가속도 g를 측정하기 위하여 후이겐스는 주기가 알려진 흔들이를 흔들게 하는것과 동시에 공을 떨어뜨리는 메르쎈느의 실험

을 개선하였다. 가장 낮은 위치에서 흔들이는 소리를 내면서 수평면에 대하여 수직인 판대기를 때렸다. 공의 초기높이는 그것이 바닥을 때리는 소리와 흔들이가 판대기를 때리는 소리가 동시에 발생할 때까지 조절하였다. 이리하여 공이 떨어지는데 걸리는 시간을 정확히 측정하였다. 후이겐스는 0.1%안에서 정확히 현대의 g값과 같은 값을 얻어내였다.

이 연구를 하는 동안에 후이겐스는 또한 매단 물체가 흔들거리는 속도를 그것을 유지하는 줄의 장력과 그리고 원심힘과 관련시켰다. 그는 원심힘이 속도의 두제곱에 비례하며 원경로의 반경에 거꿀비례한다는 정확한 결과를 처음으로 얻었다.

과학연구에서 후이겐스의 첫번째 큰 성과는 1655년에 일어났는데 그때 그와 그의 형은 자기자신들이 렌즈를 연마하여 개선된 망원경을 만들기 시작하였다.

이 기구들을 가지고 후이겐스는 토성의 《달》인 타이탄을 발견하였다. 그는 혜성과 그 어느곳에서도 닿지 않는 토성둘레의 고리를 서서히 식별하여 갈릴레이가 처음으로 진행한 관찰을 개선하였다. 관찰을 계속하는 동안 이러한 발견의 우선권을 보호하기 위하여 그는 자기가 고리를 발견한것을 암호화된 소식의 발행으로 공표하였다.

대학시기에 후이겐스는 쌍곡선, 타원, 원에 대한 자기의 연구를 발표했으며 1657년에는 세계에서 처음으로 확률에 대한 첫 공식론문을 발표하였다.

후이겐스의 시대에 중요한 기술적문제들중의 하나는 배가 바다에서 멀어질 때 배의 위치를 어떻게 정확히 결정하겠는가 하는것이였다. 훌륭한 별지도들이 이미 존재하고있었다.

그래서 원리적으로 항해가는 몇개의 밝은 별들이 수평면우에서 얼마나 멀리 떨어져있는가를 측정할수 있었으며 지구우에서 사람이 그것을 보는 위치를 계산할수 있었다.

별들은 매일밤 하늘을 가로지나 움직이기때문에 항해가는 또한 몇시에 측정들이 이루어졌는가를 알 필요가 있었다. 그런데 기계적시계들은 매일 약 15분안에서만 정확하였으므로 그것은 250mile의 항해오차를 가져올수 있었다.

태엽에 의해 동작하는 기계적시계들은 태엽이 얼마나 단단히 감기였는가에 따라 빨라지거나 떠지게 된다. 후이겐스는 갈릴레이의 열렬한 신봉자였는데 갈릴레이가 흔들이의 안정한 흔들림이 시계가 규칙적으로 가도록 하는데 리용될수 있다는것을 제기했다면 후이겐스는 처음으로 그러한 시계를 만들었다.

뉴톤과 마찬가지로 후이겐스는 수학과 력학적모형을 구성하는데서 재치가 있었다. 그는 1656년에 이러한 재능들을 흔들이시계를 만드는데서 결합하였다. 앞뒤로 흔들릴 때 흔들이기계장치는 독특한 똑딱소리를 내면서 매번의 흔들림이 끝날 때 치차가 한개 이발씩 움직이도록 만들었다. 기구는 또한 운동을 유지하도록 흔들이에 약간한 충격을 준다. 이 기계는 하루동안에 1분까지의 범위안에서 정확하였다.

후이겐스는 자기가 만든 시계들을 분석하고 계속 개선하여 마침내 그 결과들을 1673년에 《흔들이시계》에 발표하였다. 간단한 흔들이는 지지점으로부터 아래쪽으로 뻗은 가벼운 끈이나 막대기와 맨 아래끝에 추라고 부르는 짐을 매단것으로 이루어져있다.

후이겐스는 렌즈모양의 추가 구모양의 추보다 공기저항을 적게 받으므로 시계가 보다 더 정확히 맞는다는것을 발견하였다. 그는 또한 흔들이의 주기가 흔들이의 끈의 길이의 두제곱뿌리에 비례한다는것을 발견하였다. 즉 하나의 흔들이의 길이가 다른 흔들이의 길이의 두배만큼 길다면 그것의 진동주기는 첫번째 흔들이의 진동주기의 두배가 아니라 1.41($\sqrt{2}$)배만큼 길다.

끈 혹은 막대기의 질량이 추의 질량에 비하여 무시될수 없다면 흔들이는 더는 《단순한》 흔들이로 볼수 없다.

작은 추에 질량이 집중되여있지 않는 이러한 흔들이를 《복합》흔들이 혹은 《물리》흔들이라고 부른다.

후이겐스는 물리흔들이가 수학적으로 진동중심이라고 불리우는 하나의 점에 그것의 질량전체가 집중되여있는 간단한 흔들이처럼 작용한다는것을 보여주었다. 이것을 리용하여 후이겐스는 추우에 있는 작은 질량들을 추가하는 효과를 예언하여 흔들이의 주기를 조절할수 있었다.

물리흔들이를 해석하는 과정에 또한 후이겐스는 회전관성모멘트의 개념을 발전시켰다.

## 바다에서도 리용한다

흔들이시계를 제작한것은 그의 가장 뛰여난 독창적인 발명이다. 후이겐스는 흔들이의 주기가 바다에서 흔들리는 배우에서는 일정할수 없고 그것의 흔들림진폭이 작을 때에만 일정할수 있다는것을 발견하였다. 그는 솜씨있는 수학적해석을 리용하여 흔들이가 등시성을 가진다는것을 보여주었다. 즉 흔들이의 주기는 추의 경로가 원형이라면 흔들림진폭에 관계없이 일정하다. 원경로는 바퀴가 땅우에서 돌아갈 때 바퀴의 변두리에 고정된 점에 의해 그려지는 모양이다. 원경로는 먼저 반원모양으로 구부러진 철선처럼 그려질수 있는데 다음에 그끝들을 좀더 멀어지게 당길수록 곡선은 더욱더 평탄해진다.

후이겐스는 원경로의 한 부분과 같은 모양을 가진 한쌍의 안내판들사이에 흔들이를 매달고 안내판들사이에 있는 흔들이의 맨 꼭대기부분에 대하여 리봉을 리용하여 원경로를 따라 움직이는 추를 만들었다. 동작할 때 흔들이의 흔들림의 마감 가까이에서 리봉은 안내판에 대하여 반대로 곡선을 그었으며 안내판의 륜곽과 조화되였다.

이것은 흔들이의 길이를 짧게 했으며 흔들림진폭과 거의 독립적인 주기를 이루었다.

그는 하나의 시계가 멎거나 수리할 필요가 있으면 다른 하나의 시계가 계속 돌아가도록 하기 위하여 한쌍의 배시계를 만들었다. 실제상 그는 나무묶음에 나란히 그것들을 걸고 그것들이 어떻게 출발했는가에 상관없이 약 30분 지나면 흔들이들이 정확히 위상이 180° 떨어진다는것을 발견하고 몹시 놀라게 되였다.

하나의 흔들이가 흔들림의 맨 오른쪽끝에 있을 때 다른 흔들

이는 흔들림의 맨 왼쪽에 있었다. 그는 그밖에 미세한 진동들이 나무묶음을 따라 《흔들이사이의 약간한 결합》으로 알려진 조건인 한 시계로부터 다른 시계에로 전달되고있다고 옳은 결론을 내렸다.

후이겐스는 이 효과가 자기의 시계들이 정확히 유지되도록 하는 것을 돕는다고 생각하였는데 사실 그것들은 매일 약 10초안에서 정확하였다.

후이겐스의 원심힘에 대한 공식은 케플레르의 3법칙을 결합할 때 곧 태양과 행성들사이의 중력은 행성과 태양사이의 거리의 두제곱에 반비례하여 보다 강해지거나 약해진다는것을 암시한다. 이것은 그후에 뉴톤이 만유인력법칙을 발견하는데서 큰 역할을 놀았다.

후이겐스의 자연과학에 대한 립장은 그 시기의 두명의 거장들인 프랑스의 르네 데까르뜨와 영국의 아이저크 뉴톤의 과학연구사이의 중간에 있었다. 데까르뜨는 연역적인 론리만으로 모든 현상들을 설명하려고 하였다.

이에 비하여 뉴톤은 자기의 법칙들에 기초하여 관찰과 실험에 의거하였다. 후이겐스는 데까르뜨학파로 자라났다. 우주에 대한 그의 기초적인 방법은 기계론적이였다.

그러나 그는 추측컨대 하늘의 물체들의 움직임을 설명하는데 뉴톤의 《중력》보다는 데까르뜨의 보다 실제적인 《특이한 물질》의 《와류》를 더 좋아한것 같다.

그러나 상대성의 문제에서 후이겐스는 뉴톤보다 앞선 아인슈타인의 선행자였다. 후이겐스는 우주에서의 모든 운동은 상대적이라고 보았다.

후이겐스는 또한 빛에 대한 리해에서 뉴톤을 반박하였다. 즉 뉴톤은 빛의 립자설을 주장하였다면 후이겐스는 빛의 파동설을 주장하였다. 현대 량자리론은 그것들을 둘다 결합하지만 후이겐스시대에는 립자설이 지배적이였다.

후이겐스는 1678년이후 런던왕립협회와의 관계를 점점 멀리하였지만 뉴톤과는 여전히 련계를 가지였다.

후이겐스는 1689년에 다시 영국을 방문하여 뉴톤과 담화를 진행하고 자기의 비뉴톤중력리론에 대하여 왕립협회에서 강연하였다.

# 원소주기표

화학교과서를 쓰는 과정에 자기의 경험을 총화하면서 로씨야의 화학자인 드미뜨리 이와노비치 멘델레예브(1834－1907년)는 매개 원소들의 특성들이 주기적으로 반복되는 원소주기계에 대한 법칙을 세웠으며 그때까지 알려지지 않은 원소들의 특성들을 예언할수 있게 하는 주기표들을 발견하였다.

주기법칙을 독립적으로 발견한 도이췰란드의 화학자인 쥴리우스 로다 메이어(1830－1899년), 염소와 같은 원소집단들에서 특성들의 등급을 표시한 도이췰란드의 화학자인 요한 월프강 되베레이너(1780－1849년), 7개 원소들다음에 특성들이 반복된다는 《옥타브법칙》을 발견한 영국의 화학자인 죤 알렉싼더 레이나 뉼랜즈(1837－1898년)도 이에 대하여 연구하였다.

# 화학원소들의 발견

2천년이상 대부분의 과학자들은 4개의 원소들 즉 흙, 공기, 불, 물만이 존재한다고 생각하고있었으며 이 4개 조로 구분된 도표에 새롭게 발견되는 모든 원소들을 맞추려고 시도하였다.

18세기에 현대화학을 창시하는데 기여한 라부아지에는 원소로서 33개 물질들을 기입하였으며 1830년까지 화학자들은 순수한 55가지 물질들을 인정하였다.

이 원소들의 특성은 넓은 범위에서 변하였는데 그것들을 설명하기 위한 체계가 없어 큰 애로로 되고있었다.

더욱더 많은 원소들이 항목에 추가되게 되자 정확히 얼마나 많

은 원소들이 존재하며 그것들의 특성과 호상관계에서 규칙성이 나타나게 하는 원리가 무엇인가 하는 문제들이 생겨났다.

이 원소들의 순서를 발견한 첫번째 사람은 요한 되베레이너였는데 그는 1816년부터 1829년기간에 스트론티움(Sr)이 칼시움과 바리움사이의 중간의 원자질량을 가진다는것, 새로 발견된 원소인 브롬은 염소와 요드사이의 중간의 특성을 가진다는것을 주목하였다.

그는 류사한 특성들을 나타내는 다른 3가지 원소들을 발견하였으며 그후 25년쯤 지나서 다른 화학자들은 되베레이너의 도표를 확장하여 더 많은 3가원소들과 4가, 5가의 류사한 원소들을 포함시켰다.

1860년에 영국의 화학자 뉼랜즈는 원자질량이 증가하는 순서로 원소들을 배렬할 때 류사한 물리화학적특성들이 7개 원소에 관하여 나타난다는것을 발견하였으나 화학협회 성원들은 음악과의 류사성을 보여주는 그의 《옥타브법칙》을 비웃었다. 주기법칙에 대한 이 선견지명한 사상이 뉼랜즈를 이름떨치게 하기까지는 23년이라는 기간이 걸렸다.

# 원자의 질량

정확한 원소주기계는 멘델레예브와 도이췰란드의 메이어에 의해 독립적으로 발견되였다. 1860년대말에 멘델레예브와 메이어는 화학교과서를 준비하고있었다.

메이어는 자기의 원자리론과 원소의 특성들의 분류에 기초를 두었다.

무신론적인 원자론자인 멘델레예브는 처음에 원소들의 그 어떤 분류리론들보다는 화학실험을 둘러싸고 자기의 《화학원리》를 편성하였다.

그는 교과서 2권을 쓰고있던 1869년초까지 아직은 론의하지 못한 55개의 원소들을 편성하는 더 좋은 방법이 요구된다는것을 깨

닫지 못하였다.

1869년 2월 첫 몇주일동안 알카리금속들에 대한 2권의 첫 두 개 장을 쓰고있을 때 그는 새롭게 발견된 루비디움과 세시움과 함께 나트리움과 칼리움을 그것들의 증가하는 《원소의》순서 혹은 원자질량순서로 배렬하였다.

그는 이러한 배렬을 불소, 염소, 브롬, 요드 등 할로겐들과 마그네시움, 칼시움, 스트론티움 그리고 바리움의 알카리토류에 대하여 류사한 배렬과 비교하였다.

멘델레예브가 분류기준으로서 원자질량을 리용하는것이 중요하다는것을 어떻게 명백히 인식하게 되였는가를 론의할 여지가 있다. 당시 문서들의 부족은 여러가지 해석을 위한 빈자리를 남겨놓았다.

일부 학자들은 멘델레예브가 카드우에 원소들과 그것들의 특성들을 갈라 원자질량이 증가하는데 따라 그것들을 줄로 배렬한 다음 물리화학적특성들이 규칙적으로 반복된다는것을 발견했다고 주장하고있다.

또다른 학자들은 그가 분류체계보다도 발견의 방법을 찾고있는 교육자였기때문에 그러한 발견을 하였다고 말하였다.

《원소들의 성질과 원자질량사이의 관계》라는 그의 론문은 동료에 의해 1869년 3월 6일에 로씨야과학협회 회의에서 공개되였으며 로씨야와 도이췰란드에서 요약되여 출판되였다.

다음 3년에 걸쳐 멘델레예브는 자기의 주기법칙과 주기표의 초기공식들의 부족점들을 점차 인식하고 원소들의 분류능력을 높이여 드디여 가치있는 예언을 할수 있게 되였다. 원자질량들이 커지는 순서로 원소들을 엄밀하게 배렬하였을 때 일부 원소들은 제자리에 놓이지 않았는데 멘델레예브는 그것이 원자질량이 잘못된것이 아니라 례외들이 있을수 있다고 추측했다.

그의 일부 바꾸어진 원자질량들은 유용하다고 판명되였으나 다른것들은 아주 틀리였다.

3개의 원자질량의 전환은 현대주기표에 존재하는데 그것은 원자질량보다도 원자수에 기초를 두고있다.

1870년 11월경 멘델레예브는 8개월 앞서 공개된 메이어의 연

구에 대하여 알게 되였는데 거기서 메이어는 원자들의 증가하는 원자질량에 따라 수직판들에 56개의 원소들을 배렬하였다.

메이어의 수평족들은 명백히 그것들의 특성들이 주기적으로 반복된다는것을 보여주었다.

같은 론문에서 그는 원자의 질량들에 대한 원자의 체적을 구분하여 주기성의 그라프적인 설명을 보여주었는데 거기에는 류사한 특성들이 매개 극대들에 알카리금속을 가지고 파도모양으로 나타났다.

멘델레예브는 메이어의 결과가 자기의 원소체계의 법칙과 같다는것을 확신하게 되였으며 알려지지 않은 원소들에 대하여 빈공간을 가진 주기표를 발표하게 되였다.

그의 주기법칙은 원자질량에 대한 원소들의 화학적특성들의 의존성을 나타내기때문에 그는 알려지지 않은 원소들을 엄밀하게 특징지을수 있었다.

실례로 그는 칼시움다음의 빈자리에 알려지지 않은 원소는 브롬과 관련되여야 한다고 추측했으며 이 알려지지 않은 원소에 잠정적으로 《첫째》를 의미하는 산스크리트어의 《eka(에까)》를 붙인 《에까브롬》이라는 이름을 주었다.

그는 또한 두개의 다른 알려지지 않은 원소들인 에까알루미니움과 에까실리콘의 특성을 예언하였다.

1871년말에 멘델레예브가 개선되고 확장된 주기표를 발표했을 때 그는 자기가 새로운 화학의 법칙을 발견했다고 확신했다.

12개의 수평줄과 8개의 수직판들을 가진 이 표는 대다수 원소들의 특성들이 그것들의 원자질량들에 대한 주기적의존성을 가진다는것을 보여주었다.

그렇지만 아직 까다로운 문제들이 남아있었다.

실례로 멘델레예브는 그 시기 알려진 몇가지 희토류원소들을 리해하지 못하였다. 왜냐하면 이 금속들은 아주 류사한 특성들을 가지고있었기때문이다.

모두 14개의 희토류원소가 발견되였을 때 그것들을 주기표에서 따로 써야 할 요구가 제기되였다.

1875년에 에까알루미니움을 발견하고 갈리움이라는 이름을 붙였을 때 주기표와 주기법칙에 대한 멘델레예브의 위력에 눌리워 메이어를 포함하여 많은 지지자들이 나타나기 시작하였다.

멘델레예브가 예언한 특성들을 가지는 스칸디움(에까브롬)이 1879년에 발견되고 1886년에 게르마니움(에까실리콘)이 발견되자 화학자들은 멘델레예브의 주기표는 그가 초기에 생각한 간단한 기술적인 수단보다도 훨씬 더 중요하다는것을 믿게 되였다.

그것은 화학의 풍부한 과거를 알게 하며 미래를 창조하는 새로운 길을 열어놓았다. 주기표는 물리학자들과 화학자들에게 력사를 통하여 원소들에 대한 축적된 정보를 리해하게 하는 길을 열어주었다.

또한 학생들이 자연과 물질의 구성부분들의 특성을 리해하게 하였으며 연구자들이 새로운 원소들을 발견할수 있게 하였다. 연구도구로서의 그 가치를 보여주는 초기의 좋은 실례는 윌리엄 램지와 레일리에 의하여 불활성기체들인 헬리움, 네온, 아르곤, 크립톤 그리고 크세논이 발견된것이였다.

그후에 더 좋은 실례는 글린 씨보그와 다른 사람들에 의한 플루토니움, 큐리움, 아메리시움과 같은 초우라니움원소들의 발견이다.

헨리 모즐리는 원자핵의 전하수가 원자수와 같다는것을 발견하였는데 그것은 과학자들로 하여금 원소주기표의 본질을 인식할수 있게 하였다.

과학자들이 전자의 스핀과 공유전자쌍을 발견한것은 주기법칙에 대한 그들의 리해를 깊게 해주었다.

멘델레예브자신은 자기의 원소주기표가 설명되지 못한 현상들을 명백히 하며 확증할수 있는 예언들을 할수 있는 가능성을 가진다는것을 강조함으로써 자기 발견의 의의를 평가하였다.

현대과학자들에게 있어서 주기법칙의 가치는 량자력학에 의하여 원자의 본질을 더 깊이 리해하는데 도움을 준다는데 있다.

19세기에 적지 않은 비난을 받았던 멘델레예브의 사상이 현대과학의 기본핵으로 되였다.

# 빛전기효과

알베르트 아인슈타인은 금속겉면이 빛을 받으면 어떻게 전자들을 방출하는가를 설명함으로써 빛전기효과를 설명하였다.

도이췰란드물리학자인 막스 플랑크와 하인리흐 헤르쯔(1857－1894년), 죠우지프 죤 톰슨이 빛전기효과에 대하여 연구하였다.

# 놀라운 효과들

빛전기효과는 금속겉면우에 빛을 쪼여줄 때 금속겉면으로부터 전자들이 튀여나오는 현상이다. 금속으로부터 전자를 떼여내기 위하여서는 에네르기가 요구되는데 이 에네르기는 입사빛으로부터 얻어진다는것이 명백하다.

1887년에 헤르쯔는 금속겉면을 때리는 빛은 그 겉면이 전기마당속에 놓일 때 불꽃을 일으킬수 있다는것을 발견하였다.

1888년에 도이췰란드물리학자 윌헬름 할왁스는 겉면에 입사하는 빛이 대전되지 않은 물체를 대전시킬수 있다는것을 보여주었다. 즉 물체가 전자들을 잃어버리게 한다.

1897년에 전자를 발견한 죠우지프 죤 톰슨은 1899년에 빛전기효과가 일어날 때 금속겉면으로부터 전자들이 방출된다는것을 발표하였다. 이것은 불꽃이 전기마당에 의해 생겨난다는 헤르쯔의 관찰과 방출된 전자들은 금속물질로부터 나와 음전하를 나르며 이리하여 물체는 양전하를 띤다는 할왁스의 결과들을 설명했다.

1902년에 도이췰란드물리학자 레나르드는 방출된 전자들의 에네르기 혹은 등가적으로 그것들의 속도는 입사빛의 세기 혹은 밝

기에 의존하지 않는다는것을 보여주었다.

1904년에 방출된 전자들의 에네르기는 빛주파수 혹은 빛의 색갈에 의존한다는것이 알려졌다. 즉 입사빛의 주파수가 높을수록 달아나는 전자들의 속도는 더 크다.

이 두가지 발견은 빛이 그 세기에 비례하는 에네르기를 나르는 전자기파라고 보는 고전물리학의 견해를 부정했다. 고전물리학의 견해에 의하면 이 빛에네르기가 어떤 겉면에 떨어질 때 그 겉면의 전자들은 그것으로부터 달아나는데 충분한 에네르기를 점차적으로 얻게 될것이다. 빛이 대단히 밝거나 혹은 매우 세다면 전자는 레나르드의 발견과는 반대로 큰 운동에네르기를 가지고 달아날수 있을것이다.

과학자들은 이 문제에 대한 설명을 찾기 시작하였다.

## 빛량자가설

1905년에 아인슈타인은 과학의 력사에서 매우 중요한 자리를 차지하는 3개의 론문을 발표하였다.

가장 유명한 론문은 상대성리론에 대한 론문이고 다른 하나는 원자의 존재에 대한 증거로서의 브라운운동에 대한 론문, 세번째 론문은 빛전기효과에 대한 론문이였다.

첫번째 론문의 덕분에 그는 1921년에 노벨물리학상을 받았는데 그것은 빛전기효과를 설명하였고 량자력학의 기초를 이룬 론문이였다. 알베르트 아인슈타인이 1905년에 빛전기효과에 대한 리론을 제기하였을 때 그는 26살의 젊은이였다.

아인슈타인은 빛전기효과는 고전물리학으로부터 나오는 몇가지 주요개념들을 버리고 전혀 새로운 사상 즉 현대물리학의 기초를 형성할수 있는 사상들에 의해서만 리해할수 있다는것을 제기하였다.

이러한 사상들중의 하나는 1900년에 플랑크가 제기한 빛《립자》

의 개념이였다.

리해를 돕기 위하여 아인슈타인은 빛전기효과에서 입사빛은 고전적인 파동으로 볼수 없으며 립자들 혹은 《포톤》이라고 이름을 붙인 빛량자들의 흐름으로 보아야 한다고 하였다. 이러한 포톤들이 나르는 에네르기량은 전자기파의 주파수에 의존하며 그것의 세기에는 의존하지 않는다.

포톤들의 결합으로 입사빛을 봄으로써 아인슈타인은 빛전기효과를 다음과 같이 설명할수 있었다. 즉 포톤이 금속겉면을 때릴 때 《자유전자들》 즉 원자들에서 분리되여 원자에서 원자에로 이동하면서 전류나 열을 전도하는 전자들과 부딪칠 가능성이 크다. 포톤이 전자와 충돌하면 보통 자기의 에네르기의 전부를 전자에 넘겨줄것이다.

일반적으로 하나의 전자는 하나의 포톤만을 흡수할수 있다. 포톤을 흡수하기 전에 대단히 작은 에네르기를 가지고있던 전자는 흡수후에 포톤의 에네르기를 더 가진다. 이 에네르기가 충분히 크면 전자는 금속겉면으로부터 떨어져나갈수 있을것이다.

아인슈타인은 몇가지 예언을 할수 있었다. 즉 빛전자의 에네르기는 결코 포톤의 에네르기를 초과할수 없으며 포톤의 에네르기가 전자가 튀여나오는데 요구되는 에네르기보다 작으면 전자들은 입사빛이 아무리 밝아도 튀여나오지 못할것이다.

빛전기효과에 대한 아인슈타인의 해석은 고전적인 사상들이 여전히 강하던 시기에 나왔으며 빛량자의 개념은 고전적인 사고방식으로는 전혀 리해할수 없는 개념이였다.

플랑크나 아인슈타인은 자신들이 만들어낸 개념들은 자기들이 관찰한것을 묘사하는데 도움이 될수 있고 앞으로의 관찰결과들을 예언하는데 유용할수 있다고 믿었다.

이 중요한 사상들을 보편적인것으로 받아들일 때까지는 거의 20년이라는 세월이 흘렀다.

빛량자가설은 몇가지 매우 중요한 리론들을 확립하는데 중요한 부분으로 되였다.

1913년에 단마르크의 물리학자 보르는 원자들의 복사스펙트르를

설명하는데 빛량자의 사상을 리용하기 시작하였다. 려기된 원자들은 원자에 따라 서로 다른 특성주파수를 가진 빛을 내보낸다는것이 알려져있었다.

원자에 대한 유명한 《보르의 모형》은 이러한 주파수들은 전자가 보다 높은 자리길로부터 보다 낮은 자리길에로 이행할 때 원자가 내보내는 빛량자 혹은 포톤의 주파수로 리해할수 있다는것을 말해준다.

일반적으로 전자들이 원자안의 특수한 자리길에서 운동하고있는데로부터 방출된 포톤의 주파수는 두 자리길사이의 에네르기준위차에 의존할것이다.

후날 프랑스의 물리학자 루이 드 브로이는 파동처럼 거동하는 빛은 동시에 립자와 같이 거동한다는것을 인식하게 되였다.

만일 빛이 《2중성》을 가진다면 립자로서 거동하는 전자들도 파동과 같이 거동하지 않겠는가? 이런 생각으로부터 드 브로이는 유명한 파동—립자 2중성리론을 제기하였는데 그것은 빛과 물질은 립자성과 파동성을 다같이 가진다는것이다. 이 근본적인 개념들은 포톤의 개념이 없이는 생각할수 없었을것이다.

아인슈타인의 두번째 론문은 통계학과 관련되여있는데 브라운운동으로 알려진 현상 즉 꽃가루를 물에 넣었을 때 그것들의 무질서한 운동을 설명하였다.

그의 계산들은 원자가 존재한다는 확고한 증거를 주었다. 그러나 특수상대성리론을 담고있는 세번째 론문은 물질세계의 본질에 대한 사람들의 리해를 뒤집어놓은 론문이였다.

그 리론은 빛속도가 모든 관찰자들에 대하여 같고 빛원천의 속도나 관찰자의 속도에 의존하지 않으며 자연의 법칙들 즉 뉴톤력학의 법칙들과 전자기리론에 대한 막스웰방정식들은 등속운동하는 모든 기준계들에 대하여 동등하다는것을 말해주고있다. 이것은 절대공간, 절대시간에 대한 개념은 빛속도에 가까운 속도에 대하여서는 타당하지 않기때문에 버려야 한다는것을 의미했다. 첫 관찰자에 대하여 같은 시간에 일어난 사건들은 그 관찰자에 대하여 높은 속도로 운동하는 다른 관찰자에 대하여서는 같은 순간에 일어난것

이 아니다.

아인슈타인은 또한 움직이는 시계가 관찰자에 관하여 정지상태에 있는 같은 시계에 비하여 천천히 가는것으로 보일것이라는것을 보여주었으며 측정되는 막대기는 측정이 진행되는 기준계의 속도에 따라 그 길이가 변한다는것을 보여주었다.

1905년에 발표된 다른 론문에서 아인슈타인은 질량과 에네르기는 등가이라는것을 유명한 방정식 $E=mc^2$에 의하여 설명하였다.

질량은 응축된 에네르기의 형태이기때문에 질량과 에네르기는 서로 다른 형태로 전환될수 있다. 이 방정식은 무한히 출력이 높은 폭발물들을 개발할수 있는 가능성을 사람들에게 제공하였다.

1687년에 뉴톤이 《프린키피아》를 발표한 이래 이와 같은 큰 업적이 이룩된적은 일찌기 없었다.

과학의 세계는 곧 아인슈타인을 창조의 천재로서 인정했으나 아직은 그에게 있어서 가장 중요한 연구인 일반상대성리론에 대한 연구가 앞에 놓여있었다.

# 플루토니움

1951년에 노벨화학상을 공동으로 받은 미국핵물리학자들인 에드윈 마티슨 막밀란(1907－1991년)과 글렌 시오더 씨보그(1912－1999년)는 우라니움보다 무거운 원소들인 《초우라니움》원소들중 첫번째에 속하는 매우 중요한 원소인 플루토니움을 발견하였다.

미국물리화학자인 필리프 아벨슨(1913－2004년)도 이에 대하여 연구하였다.

## 핵분렬과 초우라니움원소들

핵물리학에서 핵분렬이란 원자핵이 두개 부분으로 분할되는것, 특히 핵을 중성자로 포격할 때 핵이 둘로 갈라지는것을 의미한다.

우라니움이나 플루토니움과 같은 보다 무거운 원소들의 핵들이 분렬될 때 막대한 에네르기가 방출된다.

플루토니움에 대한 이야기는 그 시작도 끝도 핵분렬과 관련되여있다.

1938년에 핵분렬의 발견은 막밀란과 씨보그와 같은 과학자들을 고무하여 초우라니움원소인 넵투니움과 플루토니움을 발견하게 하였고 이러한 분렬성플루토니움의 발견은 1945년에 일본의 히로시마와 나가사끼에 떨군 원자탄의 제조에로 이어졌다.

도이췰란드의 화학자들인 오토 한과 프리쯔 스트라스만에 의한 핵분렬의 발견은 초우라니움원소에 대한 연구에서 두번째 발견이였다.

이 원소는 우라니움보다 더 무거운 질량을 가지는 원소로서 그때까지 가장 무거운 원소였다.

그들은 처음에 우라니움핵을 가르려고 하지 않았다. 즉 그들은 단순히 이 원소에 중성자를 첨가하여 보다 무거운 원소를 만들려고 노력하고있었을뿐이다. 그런데 이 중성자의 쪼임을 받은 우라니움핵이 보다 작은 바리움과 란탄원소들로 갈라지면서 놀랍게도 막대한 에네르기가 생겨났던것이다.

1939년 1월 새로운 핵분렬을 발견한 막밀란은 대단히 흥분하였다. 그는 미국물리학자 로우렌스와 함께 원자핵을 가속시키는 장치인 싸이클로트론을 개발하고 그것을 리용하여 새로운 현상들을 연구할수 있었다.

핵분렬의 연구후에 막밀란은 곧 분렬토막들이 가질수 있는 범위를 연구하는데 달라붙었다. 이것을 연구하기 위하여 그는 담배종이우에 얇은 산화우라니움을 입히고 우라니움에서 분렬을 일으키도록 하기 위하여 싸이클로트론에 의하여 생겨난 중성자묶음을 거기에 쪼였다.

그는 중성자의 쪼임을 받은 후에 초기의 산화우라니움이 새로운 방사능을 가진다는 사실에 주목하였다.

막밀란은 이 작용이 새로운 원소인 93번원소로부터 일어나지 않겠는가고 생각하였다.

그때 당시의 화학리론에 의하면 그 새로운 원소는 레니움원소와 류사한 특성을 가져야 했다. 그러나 실험은 새로운 원소가 레니움처럼 거동하지 않는다는것을 보여주었다.

막밀란은 이 수수께끼로 하여 당황해졌으며 1년후에 대학의 필리프 아벨손과 함께 한번 더 연구해보리라고 마음먹었다.

이 시기 가설들은 새로 관찰된 방사능이 다른 화학적특성을 가짐에도 불구하고 93번째 원소로부터 나왔다고 생각하고있었다. 이것은 철저한 화학실험들을 진행한 후 정확히 증명되였다.

이것이 발견되기 전에 알려진 원소들은 92개뿐이였다.

1940년에 93번원소의 발견으로 막밀란은 초우라니움원소의 새로운 분야를 열어놓았다.

막밀란은 행성인 천왕성의 이름을 따서 붙인 우라니움이후에 발견된 새로운 원소라는데로부터 해왕성의 이름을 따서 이 새로운 원소를 넵투니움이라고 이름을 붙이였다.

막밀란은 곧 캘리포니아의 버클리에서 싸이클로트론으로부터 나오는 중수소핵을 리용하여 94번원소를 찾는데로 실험을 지향시키기 시작했다.

그는 방사성의 새로운 모형을 발견하였으나 그 연구를 하기 전에 미국방성을 위한 레이다개발을 돕기 위해 1940년에 동해안으로 불리워갔다. 막밀란의 허가와 통지로 씨보그와 동료들은 연구를 진행하여 두번째 새로운 원소가 실지로 싸이클로트론에서 만들어졌다는 결정적인 증거를 얻었다.

1941년 2월에 싸이클로트론에서 중수소핵으로 우라니움을 포격하여 그들은 94번원소인 질량수가 238인 플루토니움을 발견하였다.

이 원소는 명왕성(Pluto)의 이름을 따서 《플루토니움》이라고 이름을 붙였다. 보다 더 많은 실험을 진행한 후 그들은 플루토니움-239를 발견하였는데 그것은 핵폭탄에서 폭발원료 즉 핵연료로 리용할수 있는 분렬성동위원소라는것이 확증되였다.

1942년에 씨보그와 다른 과학자들의 공적은 두번째 거대한 핵에네르기원천인 우라니움동위원소-233을 얻어내고 동정한것인데 그것은 핵연료로서 풍부한 원소인 토리움을 리용하기 위한 열쇠였다.

1942년 봄에 씨보그는 원자폭탄용물질을 제조하기 위한 사업에 참가하였다.

그는 플루토니움-239에 대한 연구를 계속하기 위하여 시카코종합대학으로 자리를 옮기였다. 그가 이끈 연구조의 목적은 우라니움으로부터 방대한 량의 플루토니움을 제조할수 있는 화학기술을 개발하는것이였다.

연구과정에 씨보그연구조는 아주 적은 량의 물질을 조종할수 있는 장치안에서 시험관, 플라스크, 천평들과 같은 일반적인 기구들을 변형시키면서 적은 량의 방사성물질을 조종할수 있는 새로

운 기술을 개발하였다.

이 기술을 리용하여 그의 연구조는 플루토니움의 화학성질을 연구할수 있었다. 초기의 주요실험에서 그들은 1942년 9월 10일에 처음으로 플루토니움—239의 뚜렷한 질량(약 $10^{-7}$oz)을 알아내는데 성공하였다.

플루토니움의 화학적분리문제를 성공적으로 해결함으로써 큰 플루토니움생산 핵반응기들을 세우게 되였으며 플루토니움의 화학적분리를 위한 방대한 계획이 설계되였다.

마침내 뉴 멕시코주의 로스 앨러모스에서 원자폭탄제조에 충분한 순수한 플루토니움을 제조하게 되였다.

세계에서 첫 원자폭탄은 1945년 7월 16일 뉴 멕시코주의 알라모고르드에서 폭발하였다.

두번째 폭발은 1945년 8월에 일본의 상공에서 일어났다.

# 위상조종성

플루토니움에 대한 연구와 함께 에드윈 막밀란은 위상안정성원리를 통하여 물리학에 또하나의 거대한 기여를 하였다.

제2차 세계대전이 끝난 후 그는 전쟁전의 싸이클로트론 혹은 《원자분렬기》를 개선하여 1억eV로 제한되는 에네르기를 가진 립자들을 얻어냈다.

특수상대성리론은 립자의 속도가 증가할 때 그것의 질량도 커진다는것을 보여준다. 그러므로 싸이클로트론에서 립자가 가속되는 동안 그것은 라지오주파수마당과의 동기에서 벗어나게 되며 결국 전자기마당으로부터 에네르기를 얻지 못하게 된다.

막밀란은 위상안정성의 새로운 원리를 리용한다면 상대성리론에 의한 한계를 극복할수 있다는것을 리론적으로 보여주었다. 전기마당의 주파수는 립자가 전기마당에 비하여 너무 느리다면 빨라지게, 너무 빠르면 늦어지도록 하는 방식으로 자리길에서 립자들을

조종하는 자기마당이나 가속전기마당을 둘 다 변화시킴으로써 이러한 한계를 극복할수 있다. 이러한 방식에서 립자는 가속될 때 안정하였으며 가속전기마당과의 동기를 유지하여 련속적으로 에네르기를 얻게 되였다.

막밀란의 위상안정성개념은 즉시에 버클리실험실에서 만든 전자씽크로트론에서 검토되였다.

결과는 리론적으로 예언한것과 같았다. 즉 전자들은 정지질량의 600배이상인 335MeV까지 가속되였는데 이것은 상대론적한계가 극복되였다는 명백한 증거였다.

위상안정성원리는 곧 싸이클로트론에서 얻을수 있는 에네르기를 증가시키기 위해 버클리실험실에서 184in의 싸이클로트론에 적용되였다.

즉시에 많은 《씽크로싸이클로트론들》이 세계적인 핵연구실들에 세워졌다. 실례로 6천MeV까지 양성자들을 가속시키기 위한 베타트론이 버클리에 세워졌다.

이러한 에네르기로 반양성자, 반중성자를 구성하는 가능한 반물질이 계속 발견되였다.

과학의 력사에는 자주 나타나는 일치가 있는데 그 하나가 위상안정성원리가 제2차 세계대전기간에 쏘련에서 과학자 웩슬레르에의해 독립적으로 발견된것이다.

# 량자력학

어떤 가열된 물체들로부터 나오는 복사에 대한 전통적인 해석이 실험결과와 맞지 않는 문제를 연구하는 과정에 베를린종합대학 리론물리연구소 소장이며 1918년에 노벨물리학상을 받은 도이췰란드물리학자 막스 플랑크는 에네르기가 량자화된다는 혁신적인 가정을 제기하였다.

아인슈타인, 량자리론의 발전에 크게 영향을 미친 열력학제2법칙을 연구한 도이췰란드물리학자인 루돌프 클라우지스(1822－1888년), 량자리론의 발전에 영향을 준 열력학제2법칙의 통계적해석을 준 오스트리아물리학자인 루드위히 볼쯔만(1844－1906년), 량자리론의 발전에 영향을 준 열복사를 연구한 도이췰란드물리학자인 윌헬름 윈(1864－1928년), 닐스 보르가 이에 대하여 연구하였다.

# 흑체복사문제

19세기말에 이르러 많은 물리학자들은 물리학의 모든 원리들이 이미 발견되였기때문에 알려져있는 값들을 높은 정확도로 결정하기 위한 실험방법들을 결정하는 문제를 제외하고는 물리학에서 해결해야 할것이 약간만 남아있다고 생각하고있었다. 이러한 생각은 그때까지 달성한 물리학에서의 커다란 진보들에 근거를 두고있었다.

리론 및 실험에서의 진보는 전기학, 류체력학, 광학, 전자기복사에서 이루어졌다.

이러한 고전적인 리론들은 필요한것이 모두 갖추어진 완성된 리

론이라고 생각하고있었으며 물리적세계를 설명하는데 충분하다고 생각하고있었다.

그러나 몇가지 기묘한 실험적인 현상들은 아직 설명하지 못하고있었다. 이것들중 하나는 물질이 가열될 때 그것들로부터 나오는 복사인 《흑체복사》였다.

금속쪼각이 가열될 때 그것은 어두운 붉은색을 나타내며 온도가 증가할 때 더욱더 빨갛게 된다는것은 잘 알려져있다. 그 물체가 더욱더 가열될 때 색갈은 흰색으로 되며 온도가 더 높아지면 결국에는 푸른색으로 된다. 즉 물체가 점점 높은 온도로 가열될 때 붉은색으로부터 흰색을 지나 푸른색으로 련속적인 색갈의 변화가 일어난다.

주파수라는 술어로 볼 때 방출된 복사는 온도가 증가할 때 낮은 주파수로부터 보다 높은 주파수에로 이동한다. 왜냐하면 붉은색은 푸른색보다 낮은 주파수령역에 있기때문이다. 관찰되는 색들은 가장 큰 비률로 방출되고있는 주파수의 색이다. 임의의 가열된 물체는 주파수스펙트르를 나타낼것이다. 모든 주파수들을 다 방출하고 흡수하는 리상적인 물체를 흑체라고 부르고 그것이 가열되였을 때의 복사를 흑체복사라고 부른다.

실험적인 흑체복사스펙트르는 종모양인데 여기서 가장 높은 세기 즉 종의 꼭대기는 물질에 대하여 특수한 주파수에서 생겨난다. 이 최대값이 나타나는 주파수는 온도에 의존하며 모든 가열된 물체에 대하여 온도가 증가할 때 증가한다.

많은 리론물리학자들은 이러한 실험적인 관찰들과 모순없는 설명을 하려고 시도하였으나 모두 실패하였다.

실험곡선과 아주 류사한 설명은 레일리경으로 불리운 존 윌리암 스트라트와 제임스 호프우드 진즈에 의해 제기되였다.

그런데 그것은 낮은 주파수에 대하여서는 실험곡선에 맞게 낮은 세기들을 예언하였으나 높은 주파수에 대하여서는 종모양의 곡선이 얻어지지 않았으며 오히려 주파수가 증가할 때 그 세기값은 끝없이 커진다.

리론적인 표현값들은 자외선 즉 고주파령역에서 발산하기때문에 자외선위기라고 이름을 붙이였다. 다시말하여 레일리－진즈의

해석에 의하면 어떤 온도에서 물체가 내보내는 복사는 자외선령역에서 최대주파수를 가질것이라는 결론이 나왔다. 이것은 실험적사실과 명백히 모순되였다.

1900년 1월 14일에 플랑크교수는 흑체복사문제에 대한 설명을 내놓았다. 즉 플랑크는 자외선위기에 주목을 돌리면서 수학적문제를 제기했다.

그는 왜 추가된 열에네르기가 눈에 보이지 않는 자외선으로 모두 전환되지 않는가를 해석하였다.

플랑크의 이 해석은 순수 경험적인것이였다. 그러나 그 리론적한계는 플랑크를 도이췰란드물리학회앞에 내세웠다. 여섯주일전에 그가 《요행수로 들어맞은것》이라고 묘사한 발견은 실험실에서 얻어진것이 아니라 플랑크의 마음속에서 일어난것이였다.

플랑크는 레일리－진즈의 공식들의 수학적구조에 흥미를 가지고 그 리용에서의 수학적의의를 알게 되였다.

플랑크는 《나의 생활에서 몇주일간의 가장 열정적인 연구를 진행한 후에 어두움은 가셔지고 기대하지 못하였던 전망이 나타났다.》고 묘사하였다.

플랑크는 물질은 불련속적으로 열에네르기를 흡수하며 방출한다고 보았다. 불련속적이라는것은 량자들이라고 불리우는 따로따로 떨어진 량들을 의미한다.

플랑크는 관찰로부터 모든 전자기복사의 에네르기는 그 복사의 주파수에 의해 결정된다고 생각하였다.

이것은 그 시기에 알려져있던 물리법칙들에 대한 전면적인 도전이였다. 플랑크자신도 자기가 내놓은 결과를 믿기 힘들어했다.

## 량자리론의 개발자는 누구인가?

플랑크의 연구는 그 시기의 빛에 대한 리론과는 근본적으로 차이나는 량자리론의 시초로 되였다. 그 시기 빛에 대한 리론은 빛

파동들이 력학적파동과 비슷하다는것을 말해주었다.

작은 호수에서의 파동과 비슷한 력학적파동은 모든 주파수의 파동들의 모임인데 높은 주파수가 우세한것이다.

력학적파동리론에 의하면 에네르기를 주면 모든 파동들이 생겨나는데 높은 주파수의 파동들이 더 쉽게 일어나며 따라서 그런것이 더 많이 나타나게 된다.

실험실에서 나타난 흑체복사를 분석하는 과정에 플랑크는 이러한 결론이 부정확하다는것을 알게 되였다. 그는 빛파동들은 력학적파동과 같이 거동하지 않는다고 말하였다.

그는 이러한 불일치의 원인은 에네르기와 파동의 주파수사이의 관계에 대한 새로운 리해에 있다고 주장하였다. 빛으로 흡수하거나 복사하는 에네르기는 방출되는 빛주파수에 대하여 어떤 방식으로든지 관계한다. 어쨌든 가열된 물질에 공급되는 열에네르기는 그 물체의 온도가 매우 높지 않는 한 높은 주파수의 빛파동들은 려기시키지 못한다. 높은 주파수의 파동들은 간단히 말하여 그것이 생겨나는데 매우 많은 에네르기가 든다. 그러므로 플랑크는 파동의 에네르기의 주파수에 따르는 이러한 의존성을 반영하는 공식을 만들어냈다.

그의 공식에서 에네르기와 주파수는 정비례하는데 그 비례결수는 지금 플랑크상수라고 불리우고있다.

높은 주파수는 높은 에네르기를 의미한다. 결국 가열된 물체의 에네르기가 충분히 높지 않으면 높은 주파수의 빛은 생겨나지 않는다. 다시말하여 가능한 에네르기는 주어진 온도에 고정된 량이다.

후날 량자 혹은 포톤이라고 부른 그 에네르기의 방출은 정확한 량들로 에네르기를 정확히 나눔으로써만 이루어질수 있다. 에네르기를 작게 나누면 단위의 수는 많아지고 크게 나누면 적은 수의 단위가 요구되는데 한 단위의 에네르기를 작게 보는 길을 선택하였다.

결국 에네르기가 작은 단위들로 이루어졌다는 가정에 의하여 흑체복사가 설명되였다.

플랑크는 물질이 빛을 방출하거나 열에네르기를 흡수할 때 불련속적으로만 방출 또는 흡수된다는것을 받아들이는것을 몹시 싫어하였다.

플랑크가 내놓은 흑체복사에 대한 간단한 공식은 비록 그가 공식에서 나오는 결론들을 완전히 받아들이지 못했지만 물리학계에서 흥분을 자아내기 시작하였다.

사실 그 시기 대다수 물리학자들이 그것을 받아들이지 못하였다. 그러면서 언제인가는 그것을 고전적으로 유도할수 있으리라고 기대하고있었다.

그러나 몇년후에 아주 류사한 사상이 량자리론을 세울수 있는 3개의 서로 다른 응용들에 리용될수 있었다.

아인슈타인은 플랑크자신보다도 플랑크의 연구의 결론들을 더 깊이 리해하고있었다.

그는 플랑크의 량자리론을 19세기 후반기에 발견한 몇가지 다른 이상한 실험적현상들을 설명하는데 리용하였다.

1905년에 아인슈타인은 플랑크의 사상들을 리용하여 빛전기효과를 설명하였다. 그러나 빛전기효과는 빛의 세기가 아니라 주파수에 의존하는것이였다. 실례로 전자가 튀여나오는데는 높은 세기의 빛원천이 아니라 어떤 한계주파수보다 높은 주파수의 빛이 요구된다.

아인슈타인은 전자들이 튀여나오는가 안나오는가를 결정하는것은 입사빛의 주파수라는것을 보여주었다.

그는 플랑크의 공식을 리용하여 전자들을 떼여내는데 요구되는 출발에네르기가 주파수에 의존한다는것을 설명하였다.

빛전기효과에 대한 정확한 리론적해석으로 하여 그에게 1921년에 노벨물리학상이 수여되였다.

2년후인 1907년에 아인슈타인은 또다시 량자리론을 리용하여 물체가 열을 받아들이는 능력 즉 그것들의 열용량과 관련된 또하나의 기이한 현상을 설명하였다.

그 시기에 방온도조건에서 임의의 물체에 대하여 열용량은 상수라는것이 통용되고있었다. 그러나 물체의 온도가 내려갈 때 열용량은 더는 고전적인 값으로 남아있지 않았다. 사실 낮은 온도에서의

열용량은 고전리론과는 전혀 맞지 않았다. 고전리론의 결과는 원자들이 평형살창점근방에서 진동한다고 보고 얻은것이였다.

아인슈타인은 평형살창점들에 대한 원자들의 진동은 량자화되여있다고 가정하였다. 이 경우에 원자들의 력학적진동들은 량자화된다. 그러므로 전자의 진동들과 복사 그자체외에 립자들의 운동이 량자화된다는것이 밝혀졌다.

1913년에 보르는 량자리론의 사상을 리용하여 원자의 구조를 설명하였다. 보르는 려기된 원자들로부터의 복사의 방출은 이 원자안에 있는 전자들의 에네르기의 변화에 의하여 일어날수 있다고 추리하였다. 그리고 그 복사가 불련속적주파수들이라는것을 밝혔다.

보르는 어떤 량자화된 에네르기상태들에만 원자안의 전자들이 있을수 있으며 한 상태로부터 다른 상태에로 넘어갈 때 방출되거나 흡수되는 빛은 량자화된 에네르기를 가진다고 보았다.

원자에 대한 리론적해석으로 그는 1922년에 노벨물리학상을 받았다.

량자리론의 초기의 이러한 성과들로부터 미시적현상들에 대한 해석은 량자력학에 의해서만 주어진다는것이 밝혀졌다.

플랑크의 량자리론은 물리학의 근본리론들을 리해하는데서 기초로 되였다.

사실 19세기 후반기에 알려진 고전물리학은 모두 높은 온도와 량자수가 클 때 고전리론에로 넘어가는 량자화된 빛에 대한 사상에 기초를 두고있으며 실제에 있어서는 량자리론을 리론적배경으로 가지고있다는것을 보여주었다.

플랑크는 물체를 이루는 진동자들이 복사하는 에네르기는 복사되는 빛의 주파수에 비례한다고 가정함으로써 흑체복사스펙트르를 설명하는데 성공하였다. 플랑크상수로 불리워오고있는 비례결수 $h$는 력학에서 나오는 작용의 본을 가지는 극히 작은 수이다.

플랑크는 미시세계에서 《신비스러운 심부름군》으로 이 상수를 보았다. 그는 원자에 대한 물리학자들의 리론에서 작용량자 $h$의 도입을 《가능한껏 보수적으로 수행되여야 한다.》고 주장하였다.

그는 많은 실험적인 관찰결과에 의하여 고전빛파동론이 진리라는것을 보여주었다는것을 알고있었으므로 자발복사가 련속적으로 일어난다고 보아야 한다고 고집하였다.

그럼에도 불구하고 플랑크는 대단히 중요한것을 달성했다고 인식하고 량자리론에 대한 사상들을 발표한 1900년 12월 14일에 아들 에르윈에게 자기가 《뉴톤이 한것과 같이 중요한》 발견을 했다고 말했다.

한편 그는 자기의 복사법칙공식이 모든 파장과 온도들에 대하여 실험적으로 얻어낸 복사의 에네르기분포와 완전히 일치한다는데로부터 공식을 소문내는데 큰 열성을 보이였다.

량자리론에 대한 플랑크의 연구의 의의를 가장 심원하게 리해한 사람은 아인슈타인이였다. 그는 량자화된 에네르기의 사상을 받아들이고 그때까지 해석할수 없었던 빛전기효과를 설명하는데 빛량자리론을 적용하였다.

플랑크는 《에네르기량자의 발견》으로 1918년에 노벨물리학상을 받았다. 불련속적인 에네르기를 빛과 전체 전자기스펙트르에 확장함으로써 그리고 빛과 물질과의 호상작용에 대한 량자적인 연구들에 의하여 아인슈타인은 량자에 대한 사상을 처음으로 완전히 인식하였다. 1913년에 보르는 수소스펙트르에 대한 계산에 량자화된 전자의 에네르기상태들을 리용하여 수소원자의 량자리론을 발전시켰다. 량자사상의 중요성은 루이 드 브로이, 하이젠베르그와 슈뢰딩게르와 같은 저명한 물리학자들에 의해 1920년대에 개발된 량자력학에서 명백해졌다. 거의 한세기동안 중요한 리론적도구로 리용되여온 이 새로운 량자리론은 대단히 중요하였으며 물리학자들과 화학자들이 원자들과 분자들의 미시세계를 리해할수 있게 하였다.

# 쿼크들

1969년에 노벨물리학상을 받은 미국소립자물리학자인 마리 겔만(1929－)과 게오르그 쯔와이그는 각각 독립적으로  많은 소립자들은 쿼크들로 구성되여있다고 가정하면 그것들의 성질을 잘 설명할수 있다는것을 발견하였다. 스위스의 소립자물리학자인 게오르그 쯔와이그(1937－), 런던제국대학 소립자물리학자인 유발 네만(1925－)이 이에 대하여 연구하였다.

# 8중계모형

19세기말에 대다수의 원소립자들은 분자들의 구성요소인 원자들이라고 생각하고있었다. 그러나 20세기 첫 10년대에 물리학자들은 원자가 그보다 더 작은 립자들인 양성자들과 전자들 그리고 중성자들로 구성되여있다는것을 발견하였다. 이때로부터 이것들이 진짜 소립자들이라고 믿게 되였다.

그러나 물리학에서의 그이후의 발전은 더 많은 소립자들이 있다는것을 보여주기 시작하였다.

소립자들의 수는 1930년대의 3개로부터 1980년대에는 100여개이상으로 되였다. 이렇게 많은 수의 소립자가 있다는것은 물리학자들을 당황하게 만들었다. 하여 물리학자들은 이것들모두가 소립자가 아닐수 있다는 생각을 가지게 되였다.

1964년에 물질의 가장 작은 구성요소들을 정의함으로써 소립자물리학분야를 간단히 하려는 시도에서 《쿼크》로 알려진 초원자립자들의 존재가 처음으로 제기되였다. 그때까지 소립자라

고 생각하던 많은 립자들은 소립자가 아니며 그것은 이와 같이 보다 작은 단위들로 이루어져있다는 가정이 제기되였다.

이러한 성과는 캘리포니아공학연구소의 마리 겔만과 스위스 쮸리히에 있는 유명한 유럽핵물리학연구중심에서 연구하고있던 게오르그 쯔와이그에 의해 이루어졌다. 겔만은 많은 립자들의 일부 명확한 조들에 대하여 수학적 및 대칭적인 관계들을 해석하여 쿼크의 사상을 내놓았다. 그는 제임스 조이스의 소설에서 이 이름을 취했다.

마리 겔만은 어려서부터 신동으로 알려져 10대에 종합대학에 입학하였다. 30살전에 박사학위를 수여받았고 1969년에는 노벨물리학상을 받았다.

영국의 소립자물리학자인 유발 네만과 함께 겔만은 이미 《8중계모형》으로 불리우는 모형을 리용하여 이 많은 립자들을 조별로 묶는 방법을 내놓았다.

이 모형은 총체적으로 서로 다르게 나타나는 립자들은 정확히 같은 기초립자들이 서로 다르게 결합한것이라고 제기했다.

얼핏보기에 겔만과 네만이 리론화한 차이들은 여러가지 립자들에 속하는 서로 다른 량자수들에 의해 생겨나게 되였다.

량자수들은 립자들의 전하와 자기적특성과 같은 립자의 어떤 물리적특성들을 특징짓는다. 쿼크들은 자유립자들로 존재하지 못한다. 그러나 그것들은 결합되여 《+1》의 전하를 가지는 양성자와 《0》의 전하를 가지는 중성자, 옹근수전하를 가지는 초월립자들을 형성한다.

겔만이 원소립자들속에서 나타나는 깊은 수학적대칭들을 해석하는 방법으로 쿼크리론을 발전시키고있을 때 쯔와이그는 거의 같은 사상을 내놓고 실험결과를 설명하려고 하였다.

쯔와이그는 어떤 소립자 즉 파이메존이 다른 립자들로 붕괴될 때 아주 이상한 방식으로 붕괴된다는데 주목을 돌리였다. 전혀 예견하지 못하였던 이 발견을 설명하기 위하여 그는 파이메존이 《기이도》로 알려진 개별적인 특성들을 가진 두개의 부분들로 구성되여있는데 개별적으로 전달된다고 제기하였다.

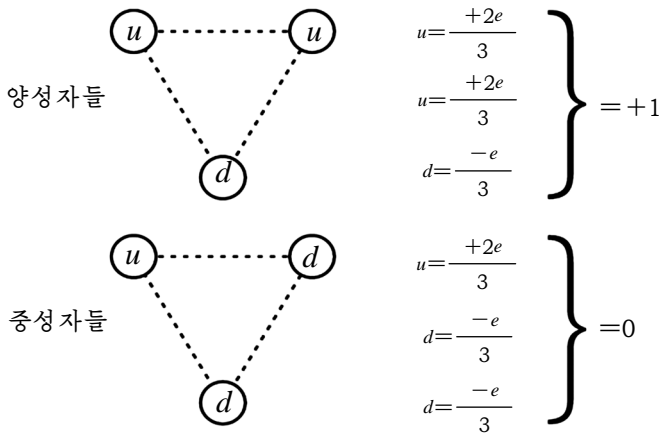



그림 10. 양성자와 중성자안에서의 쿼크들

이러한 모형을 리론적으로 연구하기 위하여 그는 많은 립자들이 《aces》라고 불리우는 3개로 구성된 한개 조의 립자들로 구성된다는것을 주장할 필요가 있다는 결론을 얻었다.

쯔와이그의 《aces》는 겔만의 《쿼크들》과 같다는것이 곧 판정되였으며 《쿼크들》은 새로운 근본적인 세개의 한조에 대하여 받아들인 술어로 되였다. 그러나 개별적인 쿼크들의 본성은 명백하지 않았다.

겔만은 그것들은 순수 수학적인 존재일수 있으며 결코 검출될수 없을것이라고 확신하고있었다.

그러나 쯔와이그는 쿼크들은 물리적으로 관찰될수 있어야 한다고 믿고있었다. 이러한 난점을 풀기 위하여 연구자들은 개별적인 쿼크들에 대하여 연구하기 시작하였다. 그들은 가속기들과 우주선들 그리고 보통의 물질덩어리들 그리고 조개류인 굴들에서까지 연구하였으나 쿼크를 찾아낼수 없었다. 쿼크들은 어디서도 발견되지 않은것으로 하여 겔만이 제기한것이 옳은것 같이 생각되였다.

그러나 1968년에 새로운 스탠포드선형가속장치중심에서 진행된 실험들은 전자들이 양성자와 충돌할 때 튕겨나는 양성자안에 있

는 단단하고 작은 무엇인가와 부딪치고있다고 볼수 있다는것을 보여주었다. 쿼크들을 찾아내기 위해 많은 노력을 하였지만 자유상태의 쿼크는 관찰되지 않았다. 물리학자들은 쿼크들이 《글루온》이라고 불리우는 립자들에 의해서 서로 매우 굳게 결합된다고 생각하게 되였다.

결합의 세기가 너무 커서 쿼크들은 결코 서로 분리될수 없다. 이리하여 쿼크들은 보다 큰 립자들의 기본적인 구성요소들이지만 그것들은 다른 쿼크들과의 결합으로만 존재하며 결코 독립적으로 관찰될수 없다.

쿼크에 대한 사상의 의의는 여러가지 종류의 자연의 힘들사이의 호상작용을 설명하기 위하여 물리학계에서 발전된 리론들에서 그것이 중심적역할을 놀고있다는데 있다.

실례로 20세기 물리학에서 가장 큰 비밀들중의 하나는 원자핵안에 서로 단단히 얽매여있는 양성자들을 유지하는 핵힘의 본성이였다. 양성자들은 모두 양으로 대전되여있는데로부터 그것들은 서로 멀리 배척하는 강한 전기적밀힘을 나타낸다. 그러나 그것들을 서로 유지하는 《강한 힘》이 있다. 강한 힘의 원천은 쿼크리론이 나오기 전까지 비밀로 되여있었다.

아마도 쿼크리론의 가장 의의있는 성과는 《통일마당리론》 즉 대통일리론에 대한 탐구의 발전에서 그것이 논 역할일것이다. 과학자들은 이러한 리론이 어느때이건 하나의 리론적인 틀거리안에서 여러가지 자연의 모든 힘들의 설명을 통일할것이라고 생각하고있다.

일부 성과는 여러가지 대통일리론의 연구과정에 달성되였다. 이러한 리론들에 의하면 전자기적호상작용, 약한호상작용, 강한호상작용은 그 매개가 각각 《포톤》, 《중간매질보존들》 그리고 《글루온》으로 불리우는 《힘나르개》를 가진다는 점에서 류사하다는것을 보여준다.

물리학자들은 네번째 호상작용으로 중력나르개라고 보고있는 《그라비톤》을 찾고있다.

이 모든 힘들은 우주를 창조한 《대폭발》의 첫 순간에 하나

의 힘으로부터 출현했을수 있다는것이 제기되였다. 중력의 리해가 대통일리론과 하나로 통합될수 있다면 그때 과학자들은 모든 호상작용힘들이 단순히 하나의 근본적인 호상작용의 서로 다른 표현이라는것을 보여줄수 있을것이다.

쿼크리론은 이러한 거대한 연구에서 반드시 필요한 부분이다.

겔만은 단순히 리론물리학자만이 아니다.

그가 내놓은것은 기이도, 재규격화군, 약한 호상작용에서 V－A호상작용리론, 보존되는 벡토르흐름, 부분적으로 보존되는 축방향흐름, 8중계모형, 흐름대수, 쿼크모형, 량자색력학 등이다.

그의 과학적정열은 물리학의 범위를 훨씬 벗어난것이였다.

물리학자이며 노벨상수상자인 쉘돈 글레쇼우는 겔만의 경력에 대하여 다음과 같이 말하였다.

《겔만은 오늘날의 소립자에 대한 막대한 지식을 발견하였을뿐만아니라 …고고학과 새들과 선인장으로부터 시작하여 요르반전설과 발효학에 이르기까지 거의 모든것에 대하여… 잘 알고있습니다.》

# 방사성원소들

1935년에 노벨물리학상을 공동으로 받은 프랑스 화학자부부인 이랜느 쥴리오－큐리와 프레데리끄 쥴리오는 폴로니움으로부터 나오는 α립자들을 리용하여 알루미니움을 포격하여 방사성을 내는 인공적인 핵인 린－30을 만들어냈다.

# 중성자와 양성자

1930년에 도이췰란드의 어느 한 과학자들의 집단은 α립자의 포격을 받은 베릴리움이 새로운 종류의 투과성복사를 방출한다는 것을 보고했다. 프랑스에서 이랜느 쥴리오－큐리와 프레데리끄 쥴리오는 도이췰란드의 결과들을 확장하였으며 그 과정에 새로운 복사를 이루는 중성자의 존재를 거의 확증하게 되였다. 이 립자는 전하를 가지고있지 않지만 양성자와 거의 같은 질량을 가지며 양성자와 결합하여 원자핵을 형성한다.

제임즈 채드위크는 중성자를 실제적으로 발견한것으로 하여 노벨물리학상을 받았다.

1932년에 쥴리오－큐리부부는 알프스산우에서 우주복사를 연구하면서 전자와 같은 질량을 가지나 음전하가 아니라 양전하를 가진 양전자를 관찰하고있었다.

그러나 그들은 자기들의 관찰을 추적하는데서 실패하였다. 그와 같은 해에 미국의 물리학자 칼 데비드 앤더슨은 큐리부부가 리용한것과 류사한 장치를 리용하여 양전자를 발견하였다.

1933년초에 쥴리오－큐리부부는 폴로니움에서 생성된 α립자

들을 리용하여 브롬, 베릴리움, 불소, 알루미니움 그리고 나트리움을 포격하였다. 포격을 받은 후 이 원소들은 중성자, 양성자 및 전자들을 방출하였다.

그들의 실험결과들의 정확성은 제7차 쏠베대회에서 론의되였는데 여기에는 유럽에서 온 대다수의 유명한 물리학자들이 참가하였다.

그들은 이 대회에서 인정받지 못하고 빠리로 돌아와 중성자와 양성자들이 같은 순간에 복사목표물들로부터 나온다는것을 결정적으로 증명할 새로운 결심을 가지게 되였다.

필요한 실험을 하기 위하여 그들은 실험장치들을 변경시키는데 힘을 넣었다.

지금까지 방사능을 검출하는 가이게르 계수기들은 방사성원천인 $\alpha$립자들의 원천이 제거되면 자동적으로 꺼졌다.

이 장치를 리용하여 그들은 알루미니움이 방사성원천이 제거된 후에도 일정한 시간동안 양성자들을 계속 방출한다는데 주목을 돌리였다.

이것은 알루미니움표적이 $\alpha$립자들의 포격에 의해 인공적으로 방사능을 만들어낸다는것을 의미하였다.

큐리부부는 자기들이 인공적인 방사능을 만들어냈다는것을 확신하였다.

의심할바 없는 발견을 설명하기 위하여 그들은 새로운 원천을 화학적으로 분리하여 그것이 본래의 알루미니움표적과 아무런 관련도 없다는것을 보여줄 필요가 있었다.

1934년 1월 15일에 유명한 마리 큐리를 포함한 연구사들은 딸과 젊은 연구자들로부터 전화호출을 받고 서둘러 실험을 진행하였다. 겉으로 보기에는 몇개의 책상우에 무질서하게 널려있는 림시실험기구들을 가지고 큐리부부는 $\alpha$립자들로 알루미니움을 포격한 다음 포격당한 표본들로부터 단 30분 15초의 반감기를 가지는 린동위원소를 분리해냈다.

일생동안 방사성연구를 진행한데서 생긴 백혈병으로 몹시 앓고있던 마리 큐리는 인공적으로 얻어낸 첫 방사성표본이 들어있는

작은 관을 기쁨속에 넘겨받았다.

쫄리오-큐리부부는 곧 브롬과 마그네시움을 가지고 실험을 반복하여 또하나의 다른 인공방사능원천들을 얻어냈다. 그들은 핵의 변환에 대한 새로운 실험들의 돌파구를 열어놓았으며 그것은 곧 5년후에 《핵반응》의 발견을 가져왔다.

쫄리오-큐리부부의 인공방사능의 발견에 대한 보고는 1934년초에 공개되였으며 1935년에는 남편과 안해가 공동으로 노벨화학상을 받음으로 하여 이름을 떨치게 되였다.

과학자들은 거의 즉시에 그것을 중성자나 양성자의 발견과 같은 의의를 가지는 발견으로 인정하였다.

로마에서 물리학자 페르미와 그의 집단은 중성자들이 인공방사능을 일으키는데서 초기의 실험들에서 리용된 $\alpha$립자들보다 더 효과적이라는것을 곧 알아차렸다.

쫄리오-큐리부부를 포함한 전체 연구자들은 중성자들에 의해 폭격받은 다른 원소들로부터 생겨난 인공방사능을 연구하기 시작하였다.

로마와 베를린, 빠리에서의 연구들은 마침내 1939년에 핵분렬로 해석되였다.

# 이랜느 쫄리오-큐리

이랜느 쫄리오-큐리는 두번씩이나 노벨상을 받은 물리화학자인 마리 큐리의 딸이다.

그는 타고난 프랑스과학의 중추의 한 성원이였고 총명한 물리학자였다.

그는 자기 어머니곁에서 일하면서 X선장치를 리용하여 제1차 세계대전기간에 부상당한 병사들을 치료해주었다. 그는 1921년에 첫 론문을 발표하였으며 1932년에는 어머니에 이어 라디움연구실 책임자로 되였다.

프레데리끄 졸리오는 중류급가정에서 자라났으며 프랑스의 이름난 종합대학이 아니라 화학공업과 관련한 물리대학을 졸업하였다.

실험물리학자로서 의심할바 없는 능력으로 하여 그는 친구인 프랑스물리학자 뽈 랑쥬방에 의해 마리 큐리의 조수로 추천되였다. 그는 1924년말에 실험에 가입하여 점차 배워나갔다.

그러나 그는 자기 개인의 마력과 능력에도 불구하고 프랑스과학의 기본단체에는 들어가기 힘들다는것을 알게 되였다.

바로 이러한 때 사교성이 풍부하고 매혹적이며 잘 생긴 프레데리끄는 다행히도 조용하고 유능하고 사교성이 없는 이렌느를 사랑하게 되였다.

1926년에 그들은 결혼하여 정말로 행복한 결혼생활을 시작하였으며 대단히 성공적인 과학의 공동연구를 시작하였다.

1930년대의 첫 4년동안 그들은 핵물리학에서 주목할만한 련속적인 실험들에 착수하여 방사성원소들을 만들어내게 되였다.

그들의 성과는 1939년에 이루어진 핵분렬반응을 가져왔다.

큐리부부는 행복한 가정생활을 계속 누리였으나 많은 량의 방사성물질을 가지고 초기연구를 한것으로 하여 이렌느의 건강은 좋은 편이 못되였다.

프레데리끄 졸리오는 곧 프랑스과학의 중추의 한 성원으로 등용되였는데 그것은 결코 큐리부인의 딸과 결혼하여 갑자기 성공한것때문만이 아니였다.

제2차 세계대전이 눈앞에 다가오자 프레데리끄 졸리오는 군대에 뽑히였다.

핵폭탄의 가능성을 인정하면서 그는 프랑스를 위해 우라니움을 확보하기 위한 단계를 취하고 노르웨이에 있는 많은 량의 《중수》의 공급을 위한 협상을 시작하였다.

나치스가 밀려옴에 따라 그와 그의 동료들은 중수를 밀수하여 영국으로 가져갔으며 전진하는 히틀러군대의 바로 전방인 마로끄에 우라니움을 숨기였다. 그는 자신의 옳바른 행동으로 중요한 과학적기여를 하였다.

# 상대성리론

아인슈타인의 특수상대성 및 일반상대성은 포함된 계들사이의 중력과 운동을 설명할뿐아니라 우주의 창조와 진화를 설명하기 위하여 제출된 모형들의 기초에 놓이는 공간과 시간에 대한 새로운 견해를 수립하였다.

도이췰란드수학자인 다비드 힐베르트(1862－1943년), 영국의 천문학자, 철학자, 물리학자인 아써 스탠리 에딩턴이 이에 대하여 연구하였다.

## 모든것이 상대적이다

뉴톤의 만유인력은 여러가지 예언들을 하는데서 아주 성공적이였지만 그것은 만유인력이 어째서 나타나는가를 설명할수 없었다. 사실 뉴톤은 만유인력을 설명하는것이 자기의 목표가 아니라고 말하였다.

《만유인력은 어떤 법칙들에 따라 련속적으로 작용하는 매개물에 의해 일어나야 한다. 그러나 이러한 인자가 물질인가 물질이 아닌가를 나는 나의 독자들의 고찰에 남겨둔다.》

그러나 거의 200년동안 뉴톤의 독자들은 이 문제에 그다지 관심을 돌리지 않았다. 뉴톤의 법칙은 경험적법칙으로 볼수 있다. 두 물체들은 그것들사이에 마치도 뉴톤이 제안한 만유인력으로 작용하는 힘이 있는것처럼 작용한다. 뉴톤은 어떻게 혹은 왜 이 힘이 작용하는가 하는 문제에 대답을 줄수 없었다.

더우기 뉴톤물리학은 물체들사이의 인력을 계산하는데서 왜 중

력질량이 정확히 관성질량과 같은가를 설명할수 없었다. 그것은 중력의 작용하에 떨어지는 물체들은 그것들이 서로 다른 질량을 가짐에도 불구하고 같은 가속도를 가지고있다는 등가성때문이다. 중력질량은 물체에 작용하는 중력의 세기를 결정하며 관성질량은 임의의 힘에 대한 물체의 저항을 결정한다. 이것이 중요한 문제라고 누구도 생각하지 못하고있을 때 중력리론을 연구한 아인슈타인의 사고를 지배한것은 바로 이러한 등가성이였다.

아인슈타인은 다른 많은 과학자들이 같은 문제를 연구하고있는 환경속에서 1905년에 특수상대성리론을 발견하였다. 이때 론의한 문제들은 시간에 대한 격렬한 론쟁이였으며 다른 과학자들도 옳은 대답에 접근하고있었다. 그러나 일반상대성리론이 발견된것은 전혀 달랐다. 아인슈타인은 벗인 수학자 마쎌 그로쓰만의 도움을 받았고 그후 아인슈타인에게서 암시를 받은 유명한 수학자 다비드 힐베르트가 아인슈타인과 같은 리론을 발전시키기 위해 노력을 기울였다. 그러나 이러한 보잘것없는 례외를 제외하고는 일반상대성리론에 대한 아인슈타인의 연구는 전적으로 그 한사람의것이였으며 그것은 이 문제에 거의나 혼자서 흥미를 가진 환경속에서 수행되였다.

아인슈타인은 특수상대성리론의 부족점들을 조사한 후 일반상대성리론에 대한 연구를 시작하였다. 중력과 특수상대성리론은 량립될수 없었다. 특수상대성리론에서 중력에 대한 리해를 구체화하기 위하여서는 중력질량과 관성질량의 등가성을 부정하지 않으면 안되였다. 그러나 그 등가성은 높은 정확도로 실험적으로 확정된것이였기때문에 그것을 무시하는것은 불가능하였다. 특수상대성리론의 공적은 모든 운동은 상대적이라는것을 밝힌것이였다. 절대속도라는 개념은 더는 없으며 상대속도만이 남아있다. 그러나 가속도는 절대가속도로 남아있었다. 아인슈타인은 속도가 상대적이라면 가속도도 상대적이여야 한다고 생각하였다. 중력문제에서 나타나는 이 생각과의 외견상 불일치는 아인슈타인을 일반상대성리론으로 알려진 중력리론의 발견에로 이끌어갔다. 일반상대성리론의 발전에서 중요한 단계는 1907년에 《등가성의 원리》를 발표한것이였다. 이 론문에서 아인슈타인은 임의의 작은 공

간령역에서는 중력과 가속도를 구별할수 없다는것을 제기하였다. 이것은 닫긴 방안에 있는 사람이 떨어지는 물체를 볼 때 방이 행성걸면우에 정지해있기때문에 물체가 떨어지는것으로 보이는지 아니면 방이 떨어지는 물체의 방향과 반대방향으로 가속되고있는 비행선안에 있기때문에 떨어지고있는것으로 보이는지를 알아내는 방법은 없다는것을 의미한다. 이와 같이 중력과 가속도는 등가이기때문에 중력질량과 관성질량의 등가성이 설명된다.

1911년에 아인슈타인은 등가성의 원리를 리용하여 가속되는 관측자가 보는 빛은 구부러지기때문에 중력은 빛을 구부려야 한다는 결론을 얻었다. 그러나 처음에 얻었던 빛의 구부러짐에 대한 값은 정확하지 못하였다. 1911년과 1916년사이에 아인슈타인은 자기의 완전한 리론에서 요구되는 복잡한 수학을 발전시키는데 힘을 넣었다. 그 결과에 그는 빛의 구부러짐에 대한 정확한 값을 발견하였다. 빛은 두점들사이의 가장 짧은 거리를 지나간다. 두점사이의 가장 짧은 거리가 구부러져 나타난다는것은 빛이 지나가는 공간구역이 구부러진다는것을 의미한다. 실례로 지구의 2차원걸면우에 그려진 직선은 그것을 걸면도형우에 투영한다면 구부러진것으로 나타날것이다. 이러한 론법을 리용하여 아인슈타인은 물질가까이에서 빛의 경로가 구부러지는것은 그 물질근방에서 4차원시공간이 구부러진다는것을 의미한다는 결론을 내렸다. 나아가서 1917년에 아인슈타인은 일반상대성리론을 리용하여 우주의 전체 물질은 전체로서의 우주의 구조 혹은 모양에 영향을 준다는것을 보여주었다.

뉴톤의 중력리론은 완전히가 아니라 거의 완성되였으나 아인슈타인이 1915년에 발견한 리론은 불완전성을 바로잡았다. 그러나 이 리론을 받아들이는데서 중요한것은 빛의 구부러짐에 대한 예언을 증명하는것이였다. 그러자면 별들로부터 오는 빛이 태양곁을 지날 때 구부러지는지 어쩐지를 알아보아야 하는데 그러기 위하여서는 태양의 완전일식을 리용해야 했다. 이 실험은 영국의 천문학자인 아써 에딩턴에 의해 1919년에 아프리카에서 진행되였는데 그 결과들은 아인슈타인의 리론적결과들을 확증하였다.

그때로부터 공간의 기하화가 공간의 한점을 다른 점에 련결하는 현미경적인 벌레먹은 구멍의 사상을 가져왔다. 보다 큰 척도에서 공간이 기하화된다는것은 빛이 전혀 빠져나올수 없는 《검은구멍》에 대한 연구들에서 확증되였다. 이러한 검은구멍들은 별들이 붕괴될 때 생겨나는 공간의 국부적인 구부림에 의해 일어나게 된다. 매우 큰 척도에서 공간과 시간에 대한 이와 같은 새로운 견해들은 우주의 시작과 진화를 설명하기 위해 제안된 여러가지 모형들에 기초를 제공한다.

일반상대성리론을 제기한 후 30여년이 지난 1950년에 아인슈타인은 리론과학에 대한 인간의 충격에 대하여 철학적으로 연구하였다. 그러면 무엇이 우리가 새로운 리론을 창조하도록 떠미는가? 도대체 우리가 왜 리론들을 창조하는가?

둘째 질문에 대한 대답은 간단하다. 즉 사람들이 《함축하는것》 즉 론리적과정에 의해 이미 알려진 혹은 겉으로는 명백한것으로 현상들을 함축하기를 좋아하기때문이다. 새로운 리론들은 무엇보다도 우리가 현존하고있는 리론들로써는 《설명》할수 없는 새로운 사실들과 맞다들 때 필요하다. 그러나 새로운 리론들을 설정하기 위한 이러한 동기는 말하자면 외부로부터 부과된 보잘것없는것이다. 아주 중요한 다른 더 강한 동기가 있다. 그것은 총체적으로 리론의 전제들을 통합하고 단일화하기 위한 노력이다. …

음악에 대하여 열정이 존재하듯이 함축하기 위한 열정이 존재한다. 그 열정은 오히려 어린이들에게서는 공통적이지만 어른이 되면 대다수 사람들속에서 없어진다. 이러한 열정이 없이 수학도 자연과학도 있을수 없을것이다. 세계를 리해하기 위한 끊임없는 열정은 사람이 어떤 경험적인 기초가 없이 순수 사고에 의해 추리적으로 현실세계를 함축하여 리해할수 있다는 환상에로 이끌어갔다. 그러나 감성적체험의 총체는 최대로 단순해야 한다는 론리적전제에 기초하여 세워진 개념들의 체계에 기초하여 함축할수 있다고 생각한다. 회의심이 많은 사람은 이것은 믿을수 없는것이라고 말할수 있을것이다. 그러나 이러한 생각은 과학의 발전결과에 놀라울 정도로 커진 생각이다.

# 슈뢰딩게르파동방정식

오스트리아물리학자 에르윈 슈뢰딩게르(1887－1961년)는 원자안에서 전자들은 빛파동과 같이 파동으로 거동한다는것을 제기하였다. 프랑스의 물리학자인 루이 드 브로이(1892－1987년)와 도이췰란드물리학자인 웨르네르 하이젠베르그(1901－1976년)가 이에 대한 연구로 력사에 이름을 남기였다.

## 행렬력학

20세기의 첫 30년은 과학자들이 세계를 보는 방식에서 커다란 변화를 가져온 시기였다. 이 짧은 기간에 개별적인 물질의 구성부분이라고 보던 원자에 대한 초기개념은 원자는 서로 호상작용하며 서로 다른 특성을 가지면서 하나의 단위를 이루는 립자들로 구성되여있다는 표상으로 변화되였다. 보르는 원자안에서 전자들은 일정한 거리 혹은 에네르기준위들에서만 핵둘레를 돌고있다는 리론을 내놓은것으로 하여 1922년에 노벨물리학상을 받았다. 이 준위들은 플랑크가 발견한 상수에 의해 결정되는데 빛의 단위들 혹은 량자들과 관련되여있다. 보르의 리론은 아인슈타인과 같은 저명한 과학자들의 큰 환영을 받았지만 그 리론에는 여전히 문제점들이 있었다.

드 브로이는 보르와 플랑크의 연구를 자기의 가설에로 확장하였다. 즉 빛이 립자성을 가지고있다면 아마도 물질은 파동성을 가질수 있다는것이였다. 《물질파》의 가능성에 대하여 생각하면서 그는 전자들이 마치도 빛파동과 같이 파동처럼 움직인다고 취급함으로써 원자안에서 전자의 정확한 위치를 찾는데 특별한 흥미를 가

지였다. 1923년에 드 브로이는 보르가 찾아낸 에네르기준위들을 단순히 플랑크의 상수에 곱해지는 어떤 량들이라고 제기하였다.

드 브로이의 가장 큰 약점들중의 하나는 자기의 리론을 립증하기 위한 수학적증거를 찾아내지 못한것이였다. 보르는 전자들은 행성들이 태양둘레를 도는것과 같은 방식으로 핵둘레를 돌고있다고 생각하였다. 드 브로이는 원자구조가 이보다는 더 복잡하다는것을 인식하였지만 실험적증거가 없기때문에 더 나가지 못하였다. 그러나 그는 전자가 개별적원자안에서 어떻게 운동하는가 하는것을 예언하는것은 의미가 없다는것을 발견하였다.

이 시기 슈뢰딩게르는 스위스의 쮜리히종합대학에서 몇년전에 아인슈타인이 차지하였던것과 같은 자리에 있었다. 슈뢰딩게르는 보르와 드 브로이의 리론들을 주목하면서 몇가지 약점들을 밝혀냈다. 이들의 초기리론들은 둘다 어떤 원자들과 관련된 빛파동들 즉 원자의 《스펙트르》들은 원자로부터 복사되는 전자기파동들에 의하여 생겨난다고 가정하였다. 그러나 슈뢰딩게르는 좀 다른 관점에서 원자들을 연구하였다. 즉 그는 초기리론들에 의해 발견된 에네르기준위들은 련속적으로 복사하는 에네르기준위라기보다는 《정상파들》의 결과였다고 생각하였다. 복사는 오직 정상파가 한 에네르기준위로부터 다른 에네르기준위로 옮겨갈 때에만 검출될수 있으며 복사하는 동안에는 정상파를 형성할수 없다는것이다.

슈뢰딩게르는 슈뢰딩게르파동방정식으로 알려진 복잡한 파동방정식을 이끌어내여 원자안에서 전자가 어떤 시간에 어디에 있을가 하는 확률을 예언할수 있게 하였다. 1926년 하반기에 련속 발표된 6개의 론문들에서 그는 이 방정식의 발견과 함께 그로부터 나오는 결과들을 분석했다. 그가 얻은 에네르기준위값들은 보르의 에네르기준위값들과 정확히 일치하였으며 화학원소들의 스펙트르선들과 같은 자료들은 슈뢰딩게르파동방정식을 풀어서 얻을수 있다는것을 잘 보여주었다.

슈뢰딩게르가 원자에 대한 파동력학적견해에 대하여 연구하고있던 시기와 거의 같은 시기에 하이젠베르그는 원자에 대한 《행렬력학》적견해를 발전시키기 위하여 수많은 같은 자료들을 리

용하고있었다. 하이젠베르그의 모형은 슈뢰딩게르가 원자를 관측되지 않는 파동함수에 기초하여 취급한것과 달리 완전히 실험적으로 관측되는 량들에 기초하고있었다. 두 과학자들은 1년안에 서로 다른 자기들의 발견들을 발표하였는데 슈뢰딩게르는 하이젠베르그가 행렬모형을 리용하여 얻은것과 같은것을 파동방정식을 리용하여 얻을수 있다는것을 곧 보여주었다. 이 두 리론의 결합은 《량자력학》이라고 불리우는 완성된 리론의 확고한 기초를 이루었다.

슈뢰딩게르는 이 연구성과로 1933년에 노벨물리학상을 받았지만 자기의 결론들에 완전히 만족해하지는 않았다. 하지만 그는 량자이행 혹은 전자들이 한 에네르기준위로부터 다른 준위에로 비약적으로 이행한다는 초기리론적개념들에서 끝내 벗어나지는 못하였다. 이에 대한 리유와 론리적해석을 주기는 하였지만 량자이행의 존재는 여전히 그가 보르의 리론에서 찾아낸 근본결함들중의 하나였다. 슈뢰딩게르의 리론을 열광적으로 받아들인 아인슈타인과 플랑크와 같은 리론물리학자들의 관심속에서 이러한 결함의 여러가지 측면들은 슈뢰딩게르와 하이젠베르그 그리고 다른 물리학자들의 론쟁의 골자로 되여왔다.

물리학의 완전히 새로운 분야를 가져온 슈뢰딩게르파동방정식은 사실상 과학분야에서 새로운 수많은 발전의 기초로 되였으며 천문학과 생물학을 포함하는 많은 다른 분야들에 커다란 충격을 주었다. 화학에서 슈뢰딩게르의 파동방정식은 분자안에서 원자들사이의 결합에네르기들을 설명하는데 리용되였으며 화학결합의 다른 특성들도 계속 설명하였다. 분자생물학분야는 화학에 량자력학리론을 도입함으로써 발전하였다. 량자리론은 또한 태양과 별들의 성분, 별들이 에네르기를 발생하는 속도, 별들의 구조와 같은 문제연구에 영향을 미치는것으로 하여 천문학에 커다란 기여를 하였다. 다른 과학자들도 량자리론을 연구하였지만 슈뢰딩게르가 파동방정식을 가지고 수행한것과 같은 구체적인 결과들은 제공할수 없었다. 몇가지 다른 발견들은 과학의 앞날에 큰 영향을 미치였다. 과학자들은 지금도 슈뢰딩게르의 연구의 새로운 응용을 찾고있으며 이러한 시도는 앞으로도 오래동안 계속될것이다.

# 분광학

솜씨있는 유리제작자이며 분광기의 발명자인 요제프 프라운호페르(1787－1826년)는 태양빛이 유리프리즘이나 살창을 통하여 지나갈 때 많은 어두운 선들이 포함되여있는 색스펙트르가 나타난다는것을 발견하였다. 그후 연구자들은 이러한 선들이 해당한 화학원소들때문에 생긴다는것을 보여주었다.

분광기를 리용하여 화학원소들은 고유한 스펙트르선을 복사한다는것을 보여준 도이췰란드과학자들인 구스타프 키르흐호프(1824－1887년)와 로베르트 분젠(1811－1899년), 좁은 간격을 둔 2개의 실틈을 통하여 빛을 가름으로써 빛파동의 파장을 처음으로 결정한 영국의 물리학자인 토머스 양(1773－1829년), 프라운호페르보다 좀 앞서 태양빛스펙트르에서 7개의 어두운 선을 발견한 영국의 물리학자인 윌리암 하이드 월라스톤(1766－1828년)이 이에 대한 연구로 이름을 남기였다.

# 사라진 파장들

1704년에 영국의 유명한 물리학자인 뉴톤은 《광학》이라는 책에서 빛의 성질에 대한 넓은 범위에서의 자기의 연구를 서술하였다. 그는 삼각프리즘을 리용하여 색스펙트르에서 태양빛의 각분산을 측정하였다.

또한 대기에서 물방울들에 의한 태양빛의 굴절로 하여 생겨나는 무지개의 형성에 대한 수학적설명을 주었다. 100년후에 영국의 물리학자 월라스톤은 태양빛스펙트르에서 뉴톤이나 다른 사람들

이 이전에는 주목할수 없었던 그 무엇인가를 보게 되였다. 그는 태양빛을 좁은 실틈을 리용하여 어두운 방에 들여보낸 다음 그것이 프리즘을 통과하도록 하였다. 이때 생겨난 스펙트르가 약 3m 떨어진 곳에서 관찰되였는데 그 거리에서 붉은색으로부터 보라색에 이르기까지의 색들이 크게 분산되였다.

월라스톤는 태양빛의 련속스펙트르에 좀 좁고 어두운 선들이 포함되여있다는데 주목을 돌리였다.

프리즘을 지난 보통의 빛원천은 사실상 련속스펙트르를 내야겠는데 일부 파장들이 보이지 않았던것이다. 즉 그는 7개의 어두운 선들을 발견했다고 보고했으나 무엇이 그 선들을 나타내게 하는가를 설명할수 없었다.

월라스톤의 발견이후 12년이 지나 프라운호페르는 그와 독립적으로 태양빛의 스펙트르에서 어두운 선들을 다시 발견하였다. 그는 특별한 기구인 분광기를 창안하고 그것을 리용하여 지금 그의 이름을 따서 프라운호페르선이라고 부르고있는 500개이상의 어두운 선들을 목록에 올릴수 있었다.

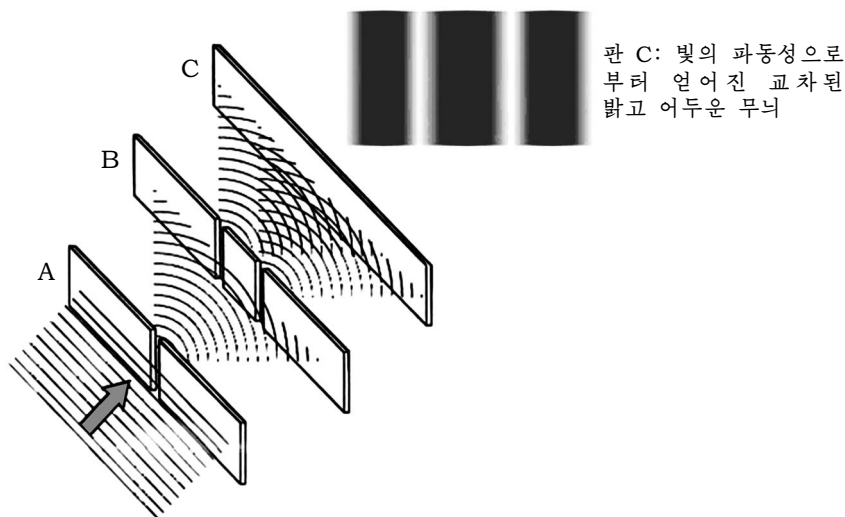



그림 11. 빛의 파동성을 보여주는 양의 두개 실틈실험

분광기는 좁은 실틈을 통해 태양이나 다른 빛원천들에서 나오는 빛을 집초할수 있는 렌즈를 가지고있었다. 들어오는 빛묶음은 색에 대하여 상대적으로 큰 각분산을 일으키는 단단한 유리로 만든 프리즘에 들어간다.

스펙트르는 회전할수 있는 발판에 붙어있는 대안렌즈를 통하여 볼수 있는데 시각을 높은 정밀도로 측정할수 있었다. 가장 눈에 뜨이는 어두운 선들에는 영문자로 이름을 붙여주었다.

프라운호페르는 태양빛스펙트르안에서 《D선》이라는 어두운 선이 이미 관찰된 나트리움빛에서 얻어진 각과 정확히 일치한다는데 주목을 돌리였다. 그러나 그는 이 관찰의 의미를 해석할수 없었다.

영국의 토마스 양은 처음으로 아주 가까이 놓인 두개의 실틈을 통하여 빛묶음이 지날 때 막우에 밝고 어두운 영상의 간섭무늬가 얻어진다는것을 보여주었다.

그는 빛의 파동론을 리용하여 이 무늬를 해석하였다. 즉 두개의 파동이 파장의 옹근수배만큼 차이나면서 겹치면 그것들의 진폭은 더해져서 빛이 밝아지지만 두 파동이 반파장의 홀수배만큼의 차이를 가지고 겹칠 때에는 그것들의 진폭들이 소거되여 어두워진다는것이다. 양은 두 실틈사이 거리와 극대밝기의 각들을 리용한 수학공식들을 얻어내고 그에 기초하여 빛의 파장을 계산하였다.

프라운호페르는 서로 가까이 평행으로 배치한 수많은 실틈들로 구성된 살창을 만듦으로써 양의 두개 실틈을 개선하였다. 그는 나사를 친 두개의 나사못사이에 앞뒤로 가는 금속선을 감았다. 한 나사산으로부터 다음 나사산까지 전진시킴으로써 그는 서로 가까이 간격을 둔 철사그물을 얻었다.

프라운호페르는 이러한 살창을 가진 분광기안에 프리즘을 다시 배치하였다. 그러나 색갈들의 각분리 혹은 분산은 프리즘을 가지고 얻은 결과보다 더 나아지지 못하였다.

관찰을 더 정확하게 하기 위하여 그는 이전보다 훨씬 더 가까이 배치된 살창으로 실틈들을 만들었다. 유리제조회사의 지역책임자로서 기계공장에 다니였던 그는 유리쪼각우에 균등하게 분포된 수백개의 평행선들을 그음으로써 새로운 실틈을 얻게 되였다. 공간을

지나온 빛은 높은 분산을 가지고 스펙트르를 형성하였다.

이 장치에 의해 그는 지금 통용되고있는 값과 1%안에서 일치하는 정확도로 나트리움등으로부터 나오는 누런색빛의 파장을 측정할 수 있었다.

프라운호페르는 전문과학자가 아니였다. 그는 광학기구들의 유리렌즈를 만드는 일을 하고있었다.

그는 고정된 눈금새김점들로서 태양빛의 어두운 선들을 리용하여 유리의 굴절률이 스펙트르를 통하여 어떻게 변하는가를 측정하였다.

그는 가장 예리한 가능한 영상을 주는 색지움체계에서 서로 다른 유리성분의 렌즈를 어떻게 결합하겠는가 하는것을 익히였다. 그는 큰 망원경용렌즈를 처음으로 내놓은것으로 하여 유럽에서 유명해졌다.

## 복사스펙트르

물리학자인 키르흐호프와 화학자인 분젠은 도이췰란드의 하이델베르그종합대학의 동료들이였다.

1850년에 그들은 나트리움, 칼리움, 동염들과 같은 여러가지 화학물질들을 포함한 불꽃들의 스펙트르를 연구하고있었다.

분광기의 살창을 리용하여 그들은 매개 원소는 독특한 밝은 선들의 스펙트르를 가진다는것을 관찰하였다. 이 복사스펙트르선들은 매 원소에 대하여 지문과도 같은 명백한 증거물을 그들에게 제공하였다.

키르흐호프와 분젠은 태양빛스펙트르에서의 어두운 선들에 대하여 35년전에 진행한 프라운호페르의 연구에 대하여 알고있었다.

이 선들을 리해하기 위하여 키르흐호프는 중요한 실험을 진행하였다. 그는 실험실의 전등의 스펙트르가 어두운 선이 없는 진짜 련속스펙트르를 가진다는것을 보여주었다.

다음에는 그 전등과 살창사이에 나트리움등을 배치하였다. 이때 련속스펙트르대신에 바로 나트리움에서 알려진 파장인 누런색 구역에서 어두운 선이 나타났다. 나트리움증기는 전등빛이 내는 련속스펙트르에서 특별한 파장의 빛을 흡수하고있다는것이 명백하였다.

키르흐호프와 분젠은 화학원소들의 원자들이 그것의 복사스펙트르와 일치하는 특수한 《흡수스펙트르들》을 가지고있다는 사상을 제기하였다.

그들은 태양의 겉면으로부터 오는 빛이 태양밖의 대기속의 나트리움, 칼리움 그리고 다른 원자들에 의해 고정된 파장들에서 흡수된다는 결론을 내리였다.

프라운호페르의 어두운 선들은 몇가지 흥미있는 결과를 가져왔다.

영국의 천문학자 죤 월라스톤은 1868년에 지구상에 알려져있는 그 어떤 원소와도 일치하지 않는 태양빛스펙트르에서의 유명한 어두운 선은 태양에서만 발견된 새로운 원소때문일수 있다는 추측을 제기하였다. 그는 그것을 태양이라는 그리스말을 붙여 헬리움이라고 이름지었다.

약 30년후에 마침내 헬리움기체가 깊은 갱의 통로에서 발견되였다.

그때로부터 헬리움은 공기풍선보다 더 가벼운 풍선을 비롯하여 여러가지에 가치있게 리용되게 되였다.

프라운호페르의 어두운 선들은 태양빛스펙트르에서만이 아니라 모든 별들의 스펙트르에서도 발견되였다.

천문학자들은 한때 하나의 별우에 집중하는 망원경을 리용하여 그것의 스펙트르를 사진필림우에 기록할수 있었다.

일부 경우에 프라운호페르의 선들은 보다 긴 파장 즉 스펙트르의 붉은색쪽으로 옮겨가서 나타났다. 이러한 《적색변이》는 별이 높은 속도로 지구로부터 멀어질 때 볼수 있다.

이 현상은 고동을 울리면서 고속으로 달리는 차가 듣는 사람으로부터 멀어질 때 사람이 듣는 주파수가 낮아지는것과 같은 현상이다. 멀리 떨어진 별들로부터 오는 프라운호페르선들에서의 적색변이는 팽

창하는 우주에 대한 리론의 중요한 증거물로 되였다.

분광학은 전자기스펙트르의 다른 부분들에로 확장되여 새로운 수단으로 리용되게 되였다. 실례로 적외선스펙트르들은 분자들의 구조에 대한 정보를 얻기 위한 중요한 수단이다.

감마선분광학은 물질안에 있는 10억분의 1정도만큼 작은 불순물을 검출할수 있는 상당히 발전된 분석방법으로 되였다.

프라운호페르의 분광기는 분석화학, 천문학, 의학적연구 등에서와 많은 실천적응용들에서 출발점으로 되고있다.

# 화학적지문들

1860년에 물리학자 키르흐호프와 이름난 화학자 로버트 분젠은 일부 특정한 원소들의 특성스펙트르를 발견하고 광범한 분야에서 그 지식이 응용되리라는것을 예언하였다.

몇가지 물질들은 불꽃에 가져다놓을 때 일정한 밝은 선을 나타내는 특성을 가지고있다는것이 알려져있다.

정량분석방법은 이러한 선들에 기초하고있는데 그것으로 하여 화학반응의 분야는 광범히 넓어지게 되였고 이때까지 도달하기 어려운 문제들이 풀렸다.

그 선들은 불꽃자체의 온도가 높을수록 그리고 그것의 발광이 약할수록 더 명백히 나타난다.

분젠에 의해 서술된 기체점화기는 대단히 높은 온도와 작은 발광불꽃을 가지므로 이러한 물질에 대하여 특징적인 밝은 선들에 대한 실험들에 특별히 알맞는다.

금속들이 리용되는 여러가지 화합물들, 불꽃들의 화학적과정들에서의 차이 그리고 그것들의 온도들사이의 큰 차이는 개별적인 금속들에 해당한 스펙트르선들의 위치에 영향을 주지 않는다.

키르흐호프와 분젠은 분광학적인 실험을 계속 진행하여 나트

리움, 리티움, 칼리움, 스트론티움, 칼시움, 바리움을 가지고 자기들의 결과들과 결론들을 계속 얻어냈다. 즉 분광분석은 지금까지 알려지지 않은 원소들을 발견하는데 중요하게 리용되게 되였다.

자연계에 너무 적게 분포되여있어서 현재의 분석방법으로는 인식하고 분리할수 없는 물질이 있다면 그것들의 불꽃스펙트르를 간단히 관찰함으로써 지금까지 알려지지 않은 원소들이 있다는것을 발견할수 있다.

분광분석은 지구상에서 어떤 원소들의 극히 적은 흔적들을 발견하기 위한 아주 간단한 방법들을 제공하며 또한 지구와 지어 태양계의 한계를 훨씬 벗어나 지금껏 전혀 연구할수 없었던 령역까지도 화학적인 방법으로 연구할수 있는 길을 열어놓았다.

이 분석방법에서는 작열하는 기체만 보면 충분하기때문에 그것은 태양과 밝은 별들의 대기의 연구에 쉽게 적용될수 있다.

# 초전도성

미국물리학자들인 죤 바딘(1908－1991년), 레온 쿠퍼(1930－)와 죤 로버트 슈리퍼(1931－)는 일부 금속들이 절대령도에 접근(－230.59℃)할 때 어떻게 전기저항을 잃어버리는가를 설명한 첫 물리학자들이였다.

스위스물리학자인 칼 알렉산드 뮬러(1927－)와 도이췰란드물리학자인 요한네스 게오르그 베드노르쯔(1950－)는 다른 물질들이 초전도체로 되는 온도보다 훨씬 높은 온도에서 저항이 없이 전기를 유도하는 《초전도》를 나타내는 도자기물질을 발견하였다.

프리쯔 월프강 론돈(1900－1954년)과 네데를란드물리학자인 헤이크 까메를링 온네스(1853－1926년)가 이에 대한 연구로 함께 이름을 남기였다.

## 초전도성의 발견

현대물리학이 창시되던 시기인 19세기말 20세기초에 과학자들은  물체는 극단적인 조건들에서는 보통의 조건에서와 같은 방식으로 행동하지 않는 세계가 있다는것을 발견하였다. 실례로 아인슈타인은 빛속도에 가까운 속도로 움직이는 물체들은 길이가 줄어든다는것을 발견하였다. 그와 류사하게 온네스는 극히 낮은 온도에서 물질은 보통의 방식으로 행동하지 않는다는것을 발견하였다.

20세기의 첫 10년에 이르기까지 헬리움을 제외한 모든 기체들은 액화되였다. 1908년에는 액체수소를 증발시켜 헬리움을 랭각시키는 정교한 장치를 리용하여 온네스가 헬리움을 액화시키는데 성

공하였다. 그다음에는 여러가지 물질들을 거의 절대령도에 가까운 온도로 떨구어 랭각시키는데 이 액체헬리움을 리용하였다. 1911년에 그는 놀랍게도 수은이 액체헬리움에 잠기여 4K으로 랭각되면 수은의 전기저항이 사라진다는것을 발견하였다. 그 온도가 4K이상일 때 수은은 이러한 《초전도성》을 잃게 된다.

온네스의 발견이후 과학자들은 다른 금속들과 많은 합금들이 절대령도에 가까운 온도로 내려갈 때 초전도체로 되지만 23K보다 높은 《림계온도》를 가지는 초전도체는 없다는것을 발견하였다. 그 나날 그들은 초전도성에 대한 리해를 깊이 할수 있었다. 실례로 1933년에 도이췰란드물리학자 칼 윌헬름 마이스네르는 초전도체들이 림계온도이하로 내려갈 때 그 내부에서 자기마당을 쫓아낸다는것을 발견하였다. 이러한 특성과 저항이 없는 전류의 특성은 명백히 초전도특성으로 되였다.

그러나 1957년까지 만족할만한 초전도성리론은 발표되지 못하였다. 그해에 죤 바딘, 레온 쿠퍼와 죤 로버트 슈리퍼는 일리노이즈종합대학에서 일하면서 초전도성을 설명하는데 전자들의 결합쌍 즉 쿠퍼쌍의 사상을 리용하였다. 그들은 금속의 결정살창에서 이온들이 진동할 때 이러한 전자들의 호상작용이 어떻게 이온들로 하여금 서로 배척하는것이 아니라 끌어당기도록 하는가를 보여주었는데 린접한 쿠퍼쌍들의 움직임이 균형을 맞추기때문에 전자들은 서로 방해함이 없이 이동할수 있다. 그러나 이러한 리론적 및 실험적진보에도 불구하고 과학자들은 니오비움-게르마니움합금에 대해서만 23K의 변환온도를 얻을수 있었다.

## 쿠퍼쌍

전류가 금속토막을 통해 흐를 때 《전기저항》으로 하여 현저한 량의 에네르기를 잃게 된다. 서로 다른 금속들은 서로 다른 저항을 가진다.

후날 노벨물리학상을 받은 네데를란드의 물리학자 온네스가 1911년에 사람들을 깜짝 놀래우며 수은의 온도가 절대령도(−273.15℃)에 거의 도달할 때 그것의 전기저항이 완전히 없어진다는 초전도성을 발견한 때로부터 50년동안 과학자들은 다른 금속들을 가지고 그런 실험을 되풀이하여 같은 결과를 얻었으나 그 원인을 설명할수 없었다.

미국의 물리학자인 죤 바딘(1908−1991년)은 1938년에 다비드 쉔베르그의 새로운 책인 《초전도》를 읽고 처음으로 초전도현상에 흥미를 가지게 되였다. 그는 일부 물리학자들만이 리해하기 시작한 초전도성과 량자력학사이의 련관을 설정하는 왕립협회모임에서 피쯔 론돈과 하인즈 론돈에 의해 발표된 보고를 이미 들었다. 1940년에 이르러 바딘은 초전도성에 대한 자기자신의 해석을 정식화하기 시작하였다.

그 나날에 그는 전기가 어떻게 일하는가를 설명하는데 도움을 주는 몇가지 새로운 발견들을 하였는데 이 발견들은 초전도성의 수수께끼에서 놓친 부분의 일부라고 판단되였으나 여전히 그 수수께끼는 거의나 풀수 없는것처럼 보이였다. 바딘은 수수께끼를 푸는 유일한 방도는 보다 작은 덜 힘든 부분들로 쪼개는것이라고 판단하였다. 1951년에 일리노이즈종합대학에서 물리학교수, 기사로 된 그는 컬람비어종합대학의 물리학박사인 레온 쿠퍼에게 일부 문제들에 대하여 자기를 도와달라고 하였다.

1956년에 그들은 바딘의 연구생들중 한사람인 죤 로버트 슈리퍼와 련계를 맺었다.

26가지 금속들과 10가지 합금들이 서로 다른 온도에서 초전도체로 된다는것은 이미 알려져있었다.

그 합금들중 임의의 합금이 초전도체로 되는 가장 높은 온도는 −214.44℃였다. 아직까지 초전도성이 이러한 극히 낮은 온도에서 일어난다는 실제적인 증거물이 없었다. 액체질소를 리용하는것이 절대령도에 가까운 온도를 얻는 값이 눅은 방법이였지만 바딘과 그의 동료들은 초전도성이 보다 높은 온도에서 얻어지지 못한다면 실용적이지 못하다는것을 알고있었다.

1950년에 바딘은 초전도성을 리해하는 열쇠는 전자들이 움직이면서 서로 호상작용하는 방식에 놓여있다는것을 간파하였다. 그 이전의 리론들은 초전도성이 원자의 진동과 관련된다고 가정하였다. 바딘은 초전도온도들에 도달할 때 전기저항의 변화를 측정하는 가능한 방도들을 제기했다. 그런데 그때까지 이 저항을 측정하는데 충분한 감도를 가진 기구들이 없었다.

1956년에 이르러 바딘의 방조자인 쿠퍼는 마침내 수수께끼를 풀기 위한 첫 열쇠를 쥐였다. 그는 자유전자들이 초전도성이 형성될 때 쌍을 지으면서 서로 끌어당긴다는것을 발견하였다. 이러한 쌍들은 흔히 《쿠퍼쌍》으로 불리운다. 이 발견을 리용하여 1년간 연구를 진행한 후 바딘과 그의 동료들은 마침내 초전도성을 리해하기 위한 성공적인 모형을 얻게 되였다. 그들은 1957년 1월에 이 모형을 발표하고 다음 6개월동안 그것을 보여주는 증거물을 발표하였다. 그들의 모형을 리해하기 위한 한가지 방법은 전자들을 철도역에 꽉 들어찬 사람들처럼 생각하는것이다. 사람들은 너무도 빽빽하게 모여 길에서 만나는 임의의 다른 사람들과 부딪치게 된다. 이것은 금속을 통하여 흐르는 전류가 약하거나 없을 때 전자들이 어떻게 움직이는가 하는것을 보여준다.

흐름이 진행될 때 역의 한쪽켠에 있는 사람들은 갑자기 한방향으로 떠밀리운다. 그들과 린접한 근방에 있는 사람들도 역시 같은 방향으로 약간씩 밀리운다. 그러나 보다 멀리 떨어진 사람들은 다만 약하게 밀리우는것을 느끼며 역의 다른쪽에 있는 사람들은 아무것도 느낄수 없다. 그러나 전자들이 쿠퍼쌍과 같이 만일 약하게 쌍을 짓고있다면 어느 한쌍 부분이 아닌 모든 전자들로부터 받는 임의의 하나의 쌍에 대한 저항은 약 백배로 떨어진다. 초전도에 가까이 다가간다는것은 이러한 상태이다. 바딘과 그의 동료들은 또한 저항이 없는외에 초전도체들은 그안으로 자기마당이 들어오지 못하게 막는다는것을 발견하였다.

몇세기동안 사람들은 연료를 리용하지 않고 에네르기를 만들어내는 영원한 운동을 리용하는 방도를 찾고있었다. 바딘이 초전도성에 대한 리론적해석을 제기했을 때 과학자들은 그 연구가 거

의 완성되였다고 생각하기 시작하였다. 그 리론이 발표되였을 때 과학자들은 즉시에 초전도성을 리용하기 위한 방도들을 창안하기 시작하였다. 그들은 초전도선으로 만든 전력선들을 생각하였다. 전류가 도선의 끝까지 도달하는 동안에 많은 전기를 소비하게 하는 전기저항이 없으면 발전소들은 보다 값이 눅어지고 보다 효률적으로 건설될것이다.

과학자들은 또한 능력이 높은 자석꾁대기에서 초전도철길우로 날을수 있는 초고속렬차들을 제기하였다.

초전도체가 개발되기 전에 이미 상상하였던 초고속콤퓨터와 보다 더 많은것들이 바딘, 쿠퍼 그리고 슈리퍼에 의해 세워진 리론에 의해 가능하게 되였다. 이미 많은것들이 연구되였고 아직 생각하지 못한 다른것들은 앞으로 개발될것이다.

# 고온초전도성

위대한 발견은 때로 모험을 동반하기도 한다. 알렉산드 뮬러와 게오르그 베드노르쯔는 스위스의 쮸리히가까이에 있는 국제직업기계(IBM)회사의 실험실에서 일하면서 보통의 금속들이나 합금들보다도 초전도성을 가지는 복합금속산화물들을 연구하였다. 다른 과학자들이 일부 금속산화물이 대단히 낮은 온도에서 초전도성을 나타낸다는것을 보여주었지만 대다수의 금속산화물들은 절연체들이라는것이 밝혀졌다. 1983년부터 1985년까지 베드노르쯔와 뮬러는 금속산화물을 결합하여 초전도성을 실험하기 위하여 새로운 성분들을 만들어냈다. 베드노르쯔와 뮬러는 프랑스화학자들이 만들어냈으나 초전도성실험에 실패한 란탄, 바리움, 동, 산소의 도자기화합물에 대하여 듣기 전에 이미 백여가지이상의 성분들이 절연체들이라는것을 밝혀냈다. 베드노르쯔는 이러한 화합물이 사실상 초전도체라는것을 발견하였다. 그것들은 이미 알려진것보다 12K 더 높은 35K의 높은 온도에서도 초전도체로 전환될수 있었다.

베드노르쯔와 뮬러는 자기들이 얻어낸 도자기물질이 저항이 없이 전류를 나른다는것을 확증했으나 순수한 초전도체물질이면 그것은 반드시 마이스네르효과를 나타내야 한다고 생각하고있었다. 즉 그것은 내부로 들어오는 자기마당을 막아야 한다. 1986년의 실험은 그들이 얻어낸 물질이 마이스네르효과를 나타낸다는것을 보여주었다. 그들의 결과들은 곧 몇개의 다른 실험실들에서 확증되여 물리학자들을 극도로 흥분시켰으며 보다 높은 림계온도를 가진 물질들에 대한 연구에로 이끌었다.

이러한 연구가 놀라운 성공을 가져왔을 때 베드노르쯔와 뮬러가 돌파구를 열었다는것이 명백해졌다. 이 발견이후 1년도 못되여 1987년에 그들은 노벨물리학상을 받았다.

베드노르쯔와 뮬러의 발견이후에 다른 연구자들은 그보다 높은 온도에서 초전도를 나타내는 화합물들을 만들어냈는데 그것들중 가장 유명한 재료는 액체질소의 온도(77K)보다 더 높은 온도인 거의 100K에서 초전도를 나타내는 물질인 이트리움—바리움—동산화물이였다.

이 화합물의 림계온도의 발견은 물리학자들속에서 커다란 활기를 불러일으켰다. 그것은 다루기 까다롭고 값이 비싼 액체헬리움대신에 액체질소가 초전도성을 연구하는데 리용될수 있다는것을 의미하였기때문이다.

약 1년후에는 125K의 림계온도를 가지는 탈리움—칼시움—바리움—동산화물을 발견하였다는것이 발표되였다.

전기저항이 없는 물질들은 참으로 쓸모가 많으므로 많은 사람들이 고온초전도체에 관심을 가지게 되였다.

고속콤퓨터들과 공중띄움렬차 그리고 동력생산과 분포에서 초전도체의 리용이 전망되였다. 그러나 복합금속산화물들로는 요구되는 많은 선을 뽑기 어려운것이 문제였다.

이 문제를 풀기 위한 여러가지 방법들을 시도해보았으나 아직까지 성공하지 못하였다. 그럼에도 불구하고 고온초전도체들이 마침내 많은 사람들이 살며 일하는 방식을 변화시킬것이라는것은 거의나 확정적인것으로 보이고있다.

# 열력학의 법칙들

열력학 제1법칙이 나오고 도이췰란드의 물리학자이며 수학자인 루돌프 율리우스 에마누엘 클라우지우스(1822－1888년)에 의하여 열력학 제2법칙이 정식화됨으로써 현대열력학의 기초가 축성되였다.

왈터 네른스트는 물질이 절대령도에 도달하는것은 불가능하며 절대령도에 가까운 물질은 무질서성을 나타내지 않는다는것을 보여주었다.

이 두가지 주장을 합친것이 열력학 제3법칙으로 알려져있다.

프랑스물리학자인 싸디 까르노(1796－1832년), 프랑스의 물리학자이며 토목기술자인 브누아 삐애르 에밀 클라뻬롱(1799－1864년), 프랑스의 물리학자, 수학자인 삐에르 씨몽 라쁠라스(1749－1827년), 프랑스물리학자인 씨몽 드니 뿌아쏭(1781－1840년), 영국물리학자인 제임스 쥴(1818－1889년), 영국의사, 물리학자인 쥴리우스 폰 마이예르(1814－1878년), 도이췰란드물리학자인 헤르만 폰 헬름홀쯔(1821－1894년), 스코틀랜드물리학자, 수학자인 윌리암 톰슨, 오스트리아물리학자인 루드위히 볼쯔만(1844－1906년)이 열력학의 1, 2법칙에 대한 연구를 진행하였다.

도이췰란드물리학자인 왈터 네른스트(1864－1941년), 영국의 물리학자인 제임즈 듀어(1842－1923년), 네데를란드물리학자인 헤이크 까메를링 온네스는 열력학의 제3법칙에 대하여 연구하였다.

# 열에 대한 리론

19세기 중엽은 열력학 즉 열과 다른 형태의 에네르기사이의 관계를 연구하는데 큰 관심을 돌린 시기였다. 1842년에 제임스 쥴과 쥴리우스 폰 마이예르는 열력학 제1법칙 혹은 에네르기보존법칙을 발견하였다. 그것은 에네르기는 한 형태로부터 다른 형태로 변환될수 있지만 닫긴계의 총에네르기는 보존된다는것을 보여준다. 이 리론은 1847년에 헬름홀쯔에 의해 확증되였다.

1850년에 클라우지우스는 열과 일 그리고 다른 열력학적변화들사이의 관계를 해석하는 론문을 발표하였다.

이 론문이 나오기 이전에 열리론은 두가지 기본적인 전제에 기초하고있었다. 그것은 우주에서 열은 보존되며 물질속에서 열은 물질의 상태에 의존한다는것이였다.

라쁠라스, 뿌아쏭, 까르노와 클라빼롱은 모두 이러한 열리론의 가정에 기초하여 열력학적개념들과 관계들을 발전시켰다. 계의 내부에네르기개념을 리용하여 열력학 제1법칙을 다시 정식화함으로써 클라우지우스는 론문에서 열량리론의 두가지 가정들이 부정확하다는것을 보여주었다.

이와 함께 자연에서 열은 뜨거운 물체로부터 찬 물체에로 흐르지 그 반대로는 흐르지 않는다는것을 지적하였다. 이것은 후에 열력학 제2법칙으로 알려지게 되였다.

클라우지우스가 정식화한 원리는 전도과정을 통하여 일어나는 열흐름에 대하여 명백한것처럼 보이였지만 열력학 제2법칙과 모순되는 과정은 절대로 일어날수 없다는것을 주장함으로써 더 전진한것이였다.

그의 론문은 열력학의 발전에서 중요한 자리를 차지하는것이였다. 그것은 열량리론을 열력학 제1, 2법칙으로 바꿈으로써 현대열력학의 기초를 이루게 되였다.

# 열기관의 효률

1850년과 1865년사이에 클라우지우스는 열력학 제1, 2법칙의 응용에 대하여 명백히 밝힌 8개의 추가적인 론문을 발표하였다.

그 하나는 열기관의 효률이였다.

열기관은 고온의 원천 혹은 열저장기로부터 열을 흡수하여 그 에네르기의 일부를 유용한 일로 전환시키고 나머지를 낮은 온도의 저장기로 내보내는 장치이다.

증기기관들은 하나의 첫 실례였다. 1854년에 까르노는 에네르기보존법칙에 엄격히 기초하여 간단한 열기관의 효률에 대한 방정식을 유도했다.

1850년에 클라우지우스는 효률의 계산에서 역시 열력학 제2법칙을 리용하여 임의의 열기관의 열효률에 대한 제한조건을 찾아내였다. 그는 임의의 열기관의 열효률의 웃한계는 항상 1보다 작다는것을 보여주었다. 그는 옹근 하나의 순환과정에 아무러한 작용도 없이 보다 찬 물체로부터 보다 뜨거운 물체에로 열을 전달하는 그 어떤 장치를 구성하는것은 불가능하다는 결론을 내렸다. 이로부터 나오는 결론은 열에네르기는 어떤 열기관에 의해서도 전부 력학적에네르기로 넘어갈수 없다는것이다.

열기관들 및 다른 열력학적계에 열력학 제2법칙을 적용하여 클라우지우스는 자연에서 일어나는 과정들은 항상 일정한 방향으로만 진행되는 비가역적이라는 결론을 얻어내였다.

이것은 절대로 거꾸로는 흐르지 않고 앞으로만 흘러가는 시간과 류사하다. 열기관이나 임의의 다른 계가 흡수하는 열을 전부 력학적일로 전환시키는것은 불가능하다는데로부터 그 계는 시작할때와 꼭같은 상태로 되돌아올수 없다.

클라우지우스는 계와 그 주위의 무질서는 증가한다는 결론을 내리였다. 실례로 열기관에서 계를 이루고있는 립자들은 처음에

보다 뜨거운 구역에 있는것과 보다 찬 구역에 있는것으로 갈라진다. 이러한 구별 혹은 질서는 계가 일을 수행하여 열평형이 이루어질 때 잃어지게 된다.

## 엔트로피

1865년에 클라우지우스는 하나의 론문을 발표하였는데 여기서 그는 자연에서 과정이 일어날 때 무질서가 증가하는 개념을 묘사하기 위하여 《엔트로피》라는 새로운 술어를 받아들이였다.

열력학 제1법칙에서 기본단어는 《에네르기》였으므로 클라우지우스는 열력학 제2법칙을 특징짓기 위하여 그와 류사한 단어를 찾아보았다. 마침내 그는 엔트로피라는 단어를 설정하였는데 그것은 《변환》을 의미하는 그리스단어에 기초하고있다.

클라우지우스는 열과 온도를 통하여 엔트로피를 표시하는 방정식을 얻어내였다. 그다음에 그는 정량적척도로서 엔트로피를 리용하여 계의 혼란 혹은 무질서도를 결정하였다.

이 론문에서 그는 본질에 있어서 다음과 같은 형태로 열력학 제2법칙을 다시 정식화하였다. 즉 주위와 호상작용하는 계의 엔트로피는 항상 커지는 방향으로 변한다.

세계에서 일어나는 모든 사건들은 전체 엔트로피를 증가시키는 결과를 가져온다. 에네르기는 보존되는데 엔트로피가 커진다는것은 앞으로 일을 수행할수 있는 질서가 잡힌 에네르기가 줄어든다는것을 의미한다.

이렇게 정식화된 열력학 제2법칙은 휘발유기관이나 디젤기관들, 분사식기관들, 증기기관들, 공기조화기, 열뽐프들 그리고 인체를 포함하는 대단히 많은 중요한 체계들의 설계와 동작에서 실천적한계를 주기때문에 가장 중요한 법칙으로 된다.

에네르기전환은 기술발전과 식물과 동물의 생존의 본질적측면이기때문에 열력학은 세계에서 가장 중요한것에 속한다.

열력학 제2법칙을 정식화하는데서 클라우지우스의 연구는 현대열력학에 대한 틀거리를 마련해놓았다.

열력학 제2법칙의 정식화의 실천적의의는 그가 생존해있는 동안 여러번 인정되였다.

열력학의 발전에서 역시 큰 역할을 논 켈빈은 열기관의 원리들은 클라우지우스가 정식화한 열력학 제2법칙과 열력학 제1법칙을 적용함으로써 처음으로 정확히 확립되였다고 지적하였다.

열력학에 대한 클라우지우스의 기여는 또한 볼쯔만과 다른 학자들이 그후 확률에 기초하여 열력학 제2법칙을 해석하게 한 기초로 되였는데 이 확률적해석은 통계력학분야의 발전을 가져왔다.

클라우지우스와 다른 유명한 과학자들에 의해 개척된 현대열력학과 통계력학분야는 공학, 생물학, 기상학, 전자공학 그리고 다른 많은 학문에 응용됨으로써 일상적으로 세계가 어떻게 운동하고있는가 하는것을 인식하는데 크게 기여하고있다.

기관들의 동작과 그것들의 효률에서의 한계들, 랭동기의 동작과 에네르기효률지수, 온도의 함수로서의 고체회로들에서 반도체들의 동작, 사탕이 이산화탄소와 물로 신진대사할 때 내놓는 에네르기의 일부와 같이 열기관 혹은 연료기관으로서의 인체의 동작과 관련된 측면들은 모두 열력학 제2법칙에 대한 클라우지우스의 정식화와 열력학 제1법칙에 대한 그의 설명에 기초하고있다. 에네르기전환에 대한 연구와 태양에네르기체계, 생물계, 핵발전소를 포함하는 에네르기원천기계들의 연구개발도 역시 클라우지우스의 열력학적과정에 대한 견해와 그것들을 지배하는 기본법칙들의 리해와 적용에 기초하고있다.

# 대단히 낮은 온도를 얻다

1870년대초부터 시작하여 과학자들은 기체를 급속히 팽창시킴으로써 －100℃보다 훨씬 낮은 온도에 도달시킬수 있었다. 이러한 기

체들은 흔히 스스로 액화되며 다른 물질들을 류사한 온도에로 랭각하는데 리용할수 있었다. 이러한 온도령역에서의 연구로부터 《절대령도》에 대한 생각을 하게 되였는데 절대령도는 실현할수 있는 가장 낮은 온도이다. 바로 그 온도는 −273℃였다.

그후 30년동안 제임스 듀아와 같은 물리학자들은 절대령도에 얼마나 접근할수 있는가를 보려고 시도하였다.

절대령도에 도달하려고 시도하는 과정에 듀아는 기체를 랭각시켜 액화한 후 그것을 저장하기 위한 새로운 장치를 발명했다.

과학자들은 또한 대단히 낮은 온도에서 물질의 특성을 연구하였으며 그 과정에 그들은 두가지 결론에 도달하였다.

첫째로 온도가 절대령도에 다가갈수록 그보다 낮은 온도에 도달하기는 더욱더 힘들어진다. 이것은 실천적으로 중요한 문제들과 련관되여있었다. 실례로 어떤 물질이 보다 랭각될수록 열은 보다 더 급속히 흘러들어가서 그것을 덥힌다. 둘째로 대단히 낮은 온도들에서는 랭각과정에 리용된 액화된 기체들은 사실상 고체로 넘어가므로 더는 랭각에 리용될수 없게 된다.

두번째 결론은 아주 예상치 않았던것이였다. 즉 이렇게 극히 낮은 온도에서 물질의 많은 특성들과 에네르기는 현존하고있는 사상들과 맞지 않는 방식으로 변화된것이다.

물리학자들은 무엇이 이러한 변화를 일으키는가 하는것을 생각하기 시작하였다. 또한 절대령도에 도달할수 있겠는가 하는 의문을 가지게 되였다.

이러한 문제들에 중요한 대답을 준것은 네른스트였다. 그 대답들중 일부는 열력학 제3법칙으로 알려지게 되였다.

열력학 제3법칙을 리해하기 위하여서는 첫 두가지 법칙들을 고찰할 필요가 있다.

열력학은 열에네르기, 력학적에네르기, 물체에서의 질서와 관련된 에네르기를 포함하는 많은 형태의 에네르기에 대하여 연구하는 학문이다. 이 마지막종류의 에네르기는 《엔트로피》라고 부른다.

더 정확히 말하면 엔트로피는 계에 존재하는 무질서도를 반영한다. 질서의 감소는 엔트로피의 증가를 가져온다. 질서의 실례로 결정안에서 분자들이 배렬되여있는 방식을 들수 있다. 무질서의 실례로는 기체에서 분자들이 무질서하게 산란되는것을 들수 있다.

열력학 제1법칙은 서로 다른 형태의 에네르기들이 더해진다는것을 말해준다. 즉 한 종류의 에네르기가 증가한다면 다른 종류의 에네르기는 감소해야 한다.

제2법칙은 엔트로피와 관련되여있는데 그것은 임의의 결정에서 무질서성이 증가하면서 에네르기의 일부가 손실된다는것을 말해준다.

제3법칙도 역시 엔트로피와 관련되여있다. 즉 온도가 절대령도에 다가갈 때 엔트로피도 역시 령으로 다가간다는것이다. 이리하여 절대령도에서 모든 무질서는 사라진다.

왈터 네른스트는 재능있는 실험가였고 그보다 더 훌륭한 리론물리학자였는데 열력학 제3법칙의 발견과정에 그는 두가지 재능을 결합하였다.

그는 절대령도에 가까운 여러가지 온도에서의 정교한 열측정들을 진행하였다. 그는 또한 자기의 결과들을 깊이 생각하는 과정에 아주 중요한 결론에 도달하였다. 그는 온도가 낮으면 낮을수록 계의 총에네르기는 그것의 열에네르기와 점점 더 같아지게 된다는것을 인식하였다.

이러한 경우에 총에네르기는 열에네르기와 엔트로피적에네르기의 합이다. 그러므로 총에네르기와 열에네르기가 같아지게 되면 엔트로피는 존재할수 없게 된다.

이 결론은 네른스트의 동시대인들을 놀라게 하였다. 그들은 절대령도에서 바로 엔트로피뿐아니고 모든 에네르기가 령으로 된다고 믿었다.

사실에 있어서는 일정한 량의 에네르기는 절대령도에서도 남아있게 된다. 또한 엔트로피가 령이라면 그 계는 완전히 정돈되여있다. 절대령도에서는 기체들도 고체인 결정상태로 된다는것은 이러한 결론이 옳다는것을 보여준다.

그런데 엔트로피가 령으로 되는 경우에는 또 한가지 결론이 나왔다.

네른스트는 기체의 팽창으로 낮은 온도에 도달하는 과정에 온도가 낮아지는것은 열에네르기가 엔트로피로 전환하는 결과에 얻어진다고 생각하였다.

그러므로 온도가 절대령도에 더욱더 가까이 다가갈수록 열에네르기를 엔트로피로 넘기는것이 더욱더 힘들어지며 아무리 많은 단계를 거친다고 하여도 절대령도에는 도달할수 없게 된다는것이였다.

이리하여 열력학 제3법칙은 서로 다르게 보이지만 사실상 밀접히 련관되여있는 두가지 정식화를 가진다.

즉 첫째로 절대령도에 다가갈 때 엔트로피는 령으로 다가간다. 둘째로 절대령도에 도달하는것은 불가능하다.

네른스트의 연구는 절대령도근방에서 전혀 기대할수 없었던것이 일어난다는것을 보여주었다.

네른스트의 발견이후 몇년동안에 많은 놀라운 일들이 더 발견되였는데 그 대다수는 네데를란드의 온네스의 실험에서 발견되였다.

그 하나는 특수한 온도에서 어떤 물질의 전기저항이 갑자기 령으로 떨어진다는것이 발견되였는데 그것은 당시 존재하고있던 리론에 의해서는 예언할수 없는 결과였다. 이러한 《초전도성》은 물질이 어떻게 구성되는가 하는 방식에 대한 새로운 리해를 가져왔다.

초전도성은 전력의 효과적인 전송과 쓸모없는 열로 전력을 랑비하지 않는 센 자석의 제작과 같은 실천적응용들에서 중요하게 리용되게 되였다.

또한 헬리움기체는 액화되면 대략 4K정도에서 다른 《보통》의 액체들이 흐르는것보다 더 쉽게 흐르게 된다. 이러한 현상은 초류동성이라고 불리운다.

대단히 낮은 온도에서 나타나는 예견할수 없었던 현상들은 대단히 많으며 그것은 아마도 앞으로 더욱더 많아질것이다.

물리학에서 가장 의의있는 진보의 일부는 극저온의 연구로부

터 오게 되였으며 네른스트의 견해들은 저온물리학에 대한 중요한 안내자로 되고있다.

## 열력학의 법칙들

제1법칙인 에네르기보존법칙: 에네르기는 창조되지도 없어지지도 않는다. 그것은 다만 한 형태로부터 다른 형태로 변한다.

에네르기는 다른 형태로 변화될수 있지만 닫긴계의 전체 에네르기는 변하지 않는다. (제임스 쥴과 쥴리우스 폰 마이예르)

제2법칙인 엔트로피와 비가역성: 화학반응이 일어난 다음에 존재할수 있는 에네르기는 반응이 시작될 때의 에네르기보다 적다. 에네르기전환은 완전히 일어날수 없다.

또한 자연적인 경향은 열이 보다 뜨거운 물체로부터 보다 찬 물체에로 흐르며 그 반대로는 흐르지 않는다. (클라우지우스, 까르노, 켈빈)

제3법칙인 네른스트의 열정리: 물질이 절대령도에 도달하는것은 불가능하다.

절대령도에 가까운 온도에 있는 물질에서는 무질서가 나타나지 않는다. 만일 절대령도에 도달할수 있다면 모든 물체들은 꼭같은 엔트로피 즉 령점에네르기를 가질것이다. (네른스트)

# 빛의 파동—립자 2중성

프랑스의 물리학자로서 1929년에 노벨물리학상을 받은 루이 드 브로이는 빛의 파동－립자 2중성에 대한 해석을 제공하였다.

닐스 보르, 1933년에 노벨물리학상을 받은 오스트리아물리학자인 에르윈 슈뢰딩게르가 이에 대한 연구로 력사에 이름을 남겼다.

## 파동이기도 하고 립자이기도 하다

1900년대초에 과학자들은 빛의 본성에 대하여 난관에 부딪치게 되였다. 오래동안 빛은 립자처럼 작용한다고 생각하여왔다. 19세기 후반기에는 빛이 파동성을 가진다는것이 밝혀졌다. 그러나 20세기에 이러한 믿음은 빛의 립자성을 확증하는 실험들에 의해 다시 변화되였다.

빛의 파동－립자 2중성은 리론을 연구하는 과정에 실험적으로 밝혀진 현상들이였다.

20세기초에 도이췰란드의 물리학자 플랑크는 빛의 파동성의 개념을 리용하여 흑체복사를 설명하였다.

파동으로서의 빛은 파장과 해당한 주파수를 가진다. 플랑크는 일정한 주파수를 가진 빛은 일정한 량의 에네르기를 가진다는것을 보여주었다. 즉 에네르기는 량자화된다는것이였다.

이것은 빛이 본질에 있어서 파동과 같다는 믿음을 확증하는듯이 보이였다.

5년후인 1905년에 아인슈타인은 빛이 립자와 같이 거동한다는것을 론증하였다.

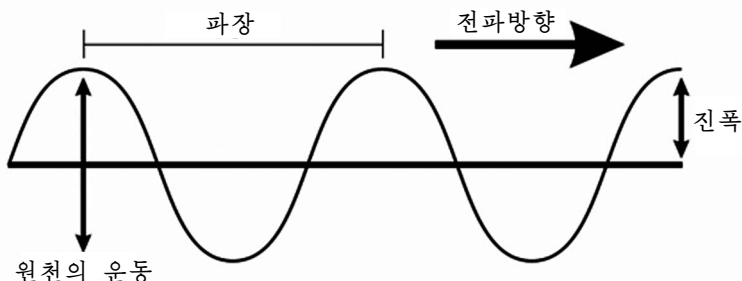



그림 12. 빛의 파동부분

아인슈타인은 플랑크의 량자화된 빛리론을 리용하여 어떤 금속겉면에 떨어지는 빛이 왜 금속으로부터 전자들을 떼여내는 결과(빛전기효과)를 가져오는가를 설명하였다.

그러나 이러한 효과는 일정한 주파수를 가진 빛에서만 일어난다. 그는 금속겉면에 떨어지는 빛을 전자들을 떼여내는데 충분한 에네르기를 가진 빛립자 혹은 포톤으로 묘사하였다.

빛의 파동—립자의 본성은 수많이 론의되였으며 그것은 당시 수행되고있던 실험에 의존하는것처럼 보이였다. 실례로 프리즘에 의해 흰빛이 성분들로 분산되는것은 빛의 파동성의 결과이다.

이와는 달리 포톤들의 흐름이 금속겉면으로부터 전자를 떼여내는것은 빛의 립자성을 말해준다.

아인슈타인은 상대성리론을 리용하여 빛이 파동 또는 립자와 같이 거동할수 있으며 그 두가지 물리적성질들은 서로 관련되여있다는것을 보여주었다. 그는 포톤의 운동량(립자성)은 빛의 파장(파동성)과 련관되여있다는것을 보여주었다.

아인슈타인의 결과들은 빛이 파동성과 립자성의 2중성을 가진다는것을 보여주었다.

루이 드 브로이는 플랑크의 빛량자리론과 아인슈타인의 빛의 파동—립자의 개념을 연구하고있었다. 그는 빛의 두가지 거동에 주의를 돌리도록 하는 몇가지 론문을 발표하였다. 드 브로이는

파동—립자 2중성에 대한 력학적해석을 찾아내려고 하였다. 이리하여 그는 파동 또는 더 정확히 말하면 파동의 주파수에 의해 결정되는 에네르기를 가진 립자 즉 포톤에 대한 력학적인 설명을 찾아내여야 하였다.

빛에 대하여 생각하는 과정에 물질(립자)은 파동성도 가져야 한다는 생각이 드 브로이에게 떠올랐다.

이 시기에 보르는 원자의 전자구름에 대한 리론을 내놓았다.

보르의 리론은 원자안에서 전자들은 특수한 에네르기의 준위들과 《자리길들》이라고 불리우는 위치들에서만 존재할수 있다는것이였다. 정확히 일정한 크기의 에네르기를 주어야만 전자의 에네르기와 자리길이 변화될수 있다.

드 브로이에게는 보르의 자리길에네르기들이 정상파와 류사하다는 생각이 떠올랐다. 결과 드 브로이는 물질에서의 파동—립자 2중성의 실례를 발견하였다. 드 브로이는 물리학박사론문을 집필하면서 거기서 물질의 파동—립자 2중성의 설명을 리용하였다.

그는 1923년에 빠리종합대학 과학학부에 론문을 제기하였다. 그의 리론은 빛과 비슷하게 물질도 파동과 같은 성질을 가진다는것을 보여주었다.

드 브로이는 보르가 제안한 전자자리길들의 운동량이 물리학의 기본상수인 플랑크의 상수의 옹근수배라는데 관심을 돌렸다.

그는 정상파들도 역시 그것들의 운동량에서 단위변화들을 가진다는것을 알고있었다. 두 끝을 고정하고 잡아당기는 현에서 일어나는 정상파를 생각하면 정상진동할 때 현은 앞뒤로 진동하며 일부 점들은 계속 정지상태에 남아있는다. 정지한 점들의 수는 진동주파수가 증가할 때 증가한다. 그러므로 드 브로이는 보르의 자리길들은 원형끈 즉 뱀이 자기의 꼬리를 무는것과 같은 모양으로 생각할수 있다고 추리하였다. 나아가서 드 브로이는 자기가 제기한 물질파들이 보르의 전자자리길을 정확히 맞춘다는것을 발견하였다.

그는 또한 운동량들과 물질파들의 파장들이 빛에서와 마찬가지로 련관되여있다는것을 찾아냈다.

그는 보르의 자리길을 설명하는데 성공하였다. 즉 매개 자리길은 정상파의 무늬였으며 이러한 개별적인 《량자화된》 파동무늬들이 존재할수 있도록 결정되는 일정한 크기를 가지는것이였다.

드 브로이가 론문을 좀 주저하면서 제출했을 때 빠리종합대학에서는 보르의 자리길들을 설명하는데서 현을 리용하는것을 믿기 어려워했다. 그래서 론문을 받아들일수 있는가를 판결할것을 아인슈타인에게 물었다. 아인슈타인이 매우 가치있다고 대답함으로써 론문은 통과되였으며 후에 드 브로이는 노벨물리학상을 받았다.

드 브로이의 파동들은 원자안에서 일어나는 현상에 대한 표상을 제공하였다.

이제는 원자의 에네르기가 변화되여 빛을 내보낼 때 파동의 모양이 변하는것을 눈으로 볼수 있게 하는것이 필요하였다.

오스트리아물리학자 슈뢰딩게르는 원자안에서 변하는 파동무늬들을 설명하는 수학방정식을 발견하였다. 슈뢰딩게르의 방정식은 물질의 파동－립자 2중성을 련속적인 변화로 묘사하는 수학적도구를 제공하였다. 슈뢰딩게르는 드 브로이가 생각한 진동하는 현과 류사하게 원자를 생각하였다. 한 자리길로부터 다른 자리길에로 전자가 넘어가는것은 현의 정상파의 주파수에서의 단순한 변화에 대응되였다.

현악기에서 이것은 두가지 파동의 조화처럼 나타나는데 그 결과는 파동에서 주파수가 차이나는것으로 나타난다.

물질의 파동－립자 2중성을 슈뢰딩게르방정식으로 모형화한것은 량자물리학발전의 토대로 되였다.

량자물리학은 21세기 기술의 진보를 가져왔는데 이것은 드 브로이의 발견에서부터 시작된것이였다.

# X선복사

윌헬름 렌트겐에 의해 처음으로 발견된 X선들은 높은 투과능력을 가지고있으며 의학과 공업적응용에 광범히 리용되고있다.

자기의 이름을 가진 진공관을 발견한 윌리암 크룩스(1832—1919년), 라지오파를 발견한 하인리흐 헤르쯔, 음극선을 연구한 도이췰란드의 실험물리학자인 필리프 레나르드(1862—1947년), 렌트겐의 실험조수, 동료이며 몇가지 론문의 공동저자인 루드위그 젠더(1854—1935년) 등이 이에 대한 연구로 력사에 이름을 남기였다.

## 이상한 발광

X선은 도이췰란드의 위르쯔부르그종합대학 물리학교수인 윌헬름 렌트겐이 1895년에 발견하였다.

그는 공기를 잘 빼지 않은 유리진공관에 전압을 걸어줄 때 생겨나는 복사를 연구하고있었다.

이미 1869년에 윌리암 크룩스는 이러한 진공관안에서 일어나는 밝은 발광을 묘사하는 연구보고를 발표하였다.

그후 필리프 레나르드는 유리관안에서 전기적방전이 얇은 알루미니움창문을 투과하여 몇㎝의 공기를 뚫고 지나가는 외부묶음을 산생시킨다는것을 보여주었다. 이 묶음을 음극에서 나온다는데로부터 《음극선》이라고 불렀다.

레나르드는 복사가 가림막을 때릴 때 어두운 곳에서 발광하는 작은 가림막우에 찍혀진 형광을 리용하여 음극선들이 지나가는 경로

를 추적할수 있었다. 그는 음극선이 자석에 의해 편기된다는것을 보여주었다.

렌트겐은 25년간이나 실험적연구를 진행하고 40건이상의 론문을 발표한 경험이 많은 실험가였다.

크룩스나 레나르드가 쓴것과 같은 종류의 기구를 리용하여 그는 먼저 자기자신이 그들의 관찰을 확증하였다.

그는 불투명한 검은 종이로 유리관을 둘러싸고 진공관안에서 생겨난 빛이 차폐되도록 하여 외부빛묶음이 보다 명백히 보이도록 하였다.

그의 실험일지에 의하면 1895년 11월 9일에 그는 아주 이상한 현상에 주목을 돌리였다.

1m이상 떨어진 책상우에 놓여있는 형광칠감으로 피복된 마분지쪼각이 전기방전이 진행될 때마다 언제나 발광하기 시작하였던것이다. 이것은 아주 놀라운 관찰이였다.

그것은 음극선이 그렇게 멀리 달아날수 없었기때문이였다. 검은 종이를 통해 나오는 새로운 형태의 복사가 있지 않는가?

렌트겐은 자신이 직접 이상한 광선에 대한 체계적인 연구를 시작하였다.

그는 방전관으로부터 2m이상 떨어진 거리에서 형광을 발견하였다.

복사는 불투명한 검은 종이를 투과하였던것이다.

그래서 그는 여러가지 다른 물질들에 대하여 투과성을 시험할 결심을 하였다.

1천페지나 되는 책의 뒤에서조차 그는 형광막이 밝아진다는것을 발견하였다.

나무판과 알루미니움박판들은 복사를 상당히 잘 투과시켰으나 2㎜의 두께를 가지는 연은 투과하지 못한다는것이 확증되였다.

방전장치와 형광막사이에 손을 가져다놓았을 때 그는 자기 손가락들의 희미한 륜곽속에서 뼈들의 그림자들을 볼수 있었다.

# 보이지 않는것의 사진

계속되는 실험들은 사진건판들이 그 복사에 감도가 있다는것을 보여주었다. 이것은 렌트겐으로 하여금 그가 이전에 눈으로 본 관찰을 영구적으로 기록할수 있게 하였다.

그는 장치가까이에 있는 리용하지 않은 새 사진건판이 우연적인 복사에 의해서 흐려질수 있다는데 주의를 돌려야 했다.

결과를 발표하면서 렌트겐은 새로운 형태의 복사가 이상하다는 의미에서 X선이라고 하였다. 그는 X선이 보통의 빛과 같이 굴절되지 않겠는가를 보기 위하여 유리프리즘을 리용하였으나 기대했던 결과는 얻어지지 않았다. 그는 또한 X선이 거울에 의해 반사되지 않으며 렌즈에 의해 집초되지도 않는다는것을 발견하였다. 높은 정확도로 보임빛파장을 측정하는데 리용되는 에돌이살창들은 X선에 대하여 효과가 없었으며 자석은 X선을 편기시키지 못하였다.

1895년 12월 22일에 렌트겐은 안해에게 실험실에서 자기를 좀 도와달라고 하였다. 그는 책상 바로 밑에 X선관을 배치한 다음 안해에게 책상겉면우에 손을 펴게 하고 그 손우에는 사진건판을 배치하였다. 그다음 X선을 로출시켰는데 로출시간은 약 5분이였다. 그가 사진을 현상했을 때 손가락에 결혼기념가락지가 끼여있는 안해의 손뼈가 나타났다. 조수는 이 사진과 다른 몇개의 음화사진으로부터 많은 복사물을 만들었다.

그림 13. 손의 X선사진

1896년 1월 1일 렌트겐은 위르쯔부르그 물리의학협회와 다른 대학들에 있는 동료들에게 사진이 들어있는 10페지의 론문을

보냈다. 사진들은 파문을 일으켰다. 그것들은 이전에는 전혀 볼수 없었던 사진들이였던것이였다.

며칠후에 유럽의 전체 신문들은 이 새로운 과학적발견에 대한 이야기와 사진들을 게재하였다.

강의에 출연하고 연시할것을 요청하는 수많은 편지들이 렌트겐에게 날아왔다. 그는 도이췰란드황제 카이제르 윌헬름 1세로부터 받은 편지를 제외하고는 다른것들은 다 거절하였다.

1월 13일에 그는 X선기구를 가지고 베를린으로 가서 닫긴 상자안에 있는 금속물질이 어떻게 사진찍혀지는가를 사람들에게 보여주었다. 1월 23일에는 자기 대학의 학생들앞에서 헤르쯔와 레나르드의 초기의 공헌에 대해 말하면서 자기가 한 실험에 대하여 강의하였다. 강의를 결속하면서 그는 학부의 동료들의 손을 X선으로 사진찍고는 그것을 곧 현상하여 집으로 보내주었다. 강의가 끝나자 오래동안 박수가 계속되였다.

다음 몇주동안 렌트겐은 X선을 가지고 실험을 진행한 많은 과학자들로부터 편지를 받았다. 한사람은 상세한 뼈구조를 보여주는 물고기사진을 보내여왔다. 그의 동무 루드위히 젠더는 머리로부터 발끝까지의 완전한 골격을 보여주는 사람몸의 몇가지 사진을 찍었다.

렌트겐에게 있어서 가장 큰 명예는 노벨상이 제정된 후 처음으로 1901년에 노벨물리학상을 받은것이였다.

렌트겐은 그 어떤 제한도 없이 모든 사람들에게 X선의 혜택이 차례져야 한다는것을 느끼였다.

그는 X선의 발견으로 부유하게 될수 있었지만 특허를 신청하지 않았다. 그의 장치들은 값이 비싸지 않았으며 복제하기 힘들지 않았다. 가장 힘든 부분은 바깥에 있는 두개의 단자들에 유리를 통해 나오는 선들로 련결된 안쪽에 두개의 금속전극들을 가진 유리관을 만들기 위한 유리송풍장치를 얻는것이였다. 많은 병원들과 연구실들은 자체의 X선기계들을 만들어 설치할수 있었다.

렌트겐이 론문을 발표한 후 1년동안에 거의 1천여개나 되는 X선에 대한 론문들이 여러 기술잡지들에 실리였다.

의학자들은 새로운 진단도구로서 X선을 대단히 환영하였다.

의사들은 부러진 뼈와 삼킨 물건들이나 몸에 박힌 탄알의 위치를 알아낼수 있었다. 1년에 한번씩 진행하는 학생들에 대한 X선검사는 결핵의 초기징후를 알아내기 위한 일상적인 방법으로 되였다. 악성종양에 대한 X선의 복사는 한번에 쓰는 X선의 쪼임량을 주의깊이 조절하기만 하면 유익한 료법으로 된다는것이 발견되였다.

1970년대에 CT주사라고 불리우는 X선기술에서의 커다란 개선이 이루어졌다.

좁은 X선빛묶음들을 서로 다른 각도로 몸부분을 가로질러 주사한 다음 그 정보를 콤퓨터에 집중시켜 영상막우에 그림으로 나타나게 하는것이다.

X선기구들은 비행기가 뜨기 전에 손짐을 검사하는데 일반적으로 리용되고있다.

또한 방안의 벽안에 숨긴 도청기들을 찾아내는데 리용되였다. 수송관에서 류체가 새여나갈수 있는 용접부들에서의 머리카락같이 가는 틈들을 검출하는데 휴대용X선장치들이 리용되였다.

X선분석은 화학자들이 DNA라선과 같은 복잡한 분자들의 구조를 결정하는데 광범히 리용되였다.

렌트겐에 의한 X선의 발견은 순수한 과학적연구가 어떻게 예상치 않았던 많은 실천적인 응용을 가져올수 있는가를 보여주는 좋은 실례로 되고있다.

# X선결정학

X선결정학의 발명은 X선을 리용하여 많은 물질들의 결정구조를 연구하는 중요한 기술을 제공한다.

1915년에 노벨물리학상을 받은 영국의 수학자, 물리학자인 윌리암 헨리 브래그(1862－1942년), 1915년에 노벨물리학상을 아버지와 함께 받은 윌리암 헨리 브래그의 아들인 로우렌스 브래그(1890－1971년), 1914년에 노벨물리학상을 받은 도이췰란드의 물리학자인 막스 폰 라우에(1879－1960년), 윌헬름 콘라드 렌트겐, 프랑스의 수학자이며 광물학자인 레네－쥬스트 하유이(1743－1822년), 프랑스의 물리학자인 오구스트 브라베(1811－1863년)가 이에 대한 연구로 이름을 남기였다.

## 결정구조를 설명한다

결정은 화학물질이 응결될 때 형성되는 물체이다. 그것은 결정원자들의 내부원자구조에 기초하여 일정한 각들과 평탄한 걸면들로 균일하게 모양을 이루면서 망을 형성한다. 이러한 내부결정구조들이 어떤 모양을 가지는가를 결정하는것이 X선결정학의 목표이다.

이를 위하여 원자들이 결합되는 정밀한 배치를 연구한다. 이러한 연구에서 기본은 X선의 에돌이원리이다. 이 기술에서는 X선을 결정에 쪼여줄 때 일어나는 산란을 리용한다. X선의 산란은 그것들의 정상적인 운동경로와 간섭을 일으킨다.

결정안에서 원자들이 일정한 간격을 두고 배렬되여있는 방식

은 X선들이 물질을 통과하는 과정에 어떻게 그것들로부터 반사되는가를 결정한다. 이리하여 반사된 빛파동들은 숨기려고 해도 숨길수 없는 간섭무늬를 형성한다. 이 무늬를 연구하여 과학자들은 결정구조의 변화들을 발견할수 있는것이다.

20세기초에 X선결정학의 발전은 두가지 중대한 과학적인 문제에 대답을 줄수 있었다.

그것은 X선이란 무엇인가? 그리고 결정이란 무엇인가 하는것이였다. 그것은 결정물질들을 식별하고 분류하는 새로운 기술이 태여나게 하였다.

자연에서 만나는 큰 결정들의 연구로부터 화학자들과 지질학자들은 여러가지 결정모양들을 분류하고 묘사하며 구별하는 대칭요소들을 찾아내였다. 약 한세기전에 레네-쥬스트 하유이는 다양한 모양의 결정들은 작은 고체립방체들이 반복적으로 쌓임으로써 형성될수 있다는것을 보여주었다.

브라베는 그후 수학적으로 모든 결정의 형태들은 공간살창들에서 살창점들의 3차원적인 배렬의 반복적인 쌓임으로 형성된다는것을 보여주었다. 그러나 누구도 물질이 실제적으로 공간살창에 배렬되여있는가 하는것을 증명할수 없었다.

과학자들은 공간살창들로 모형화된 작은 건설블로크들이 실제적으로 하유이의 립방체들과 같은 고체물질인지 혹은 그것들이 브라베가 묘사한 살창점들에만 고체물질들이 배치된 거의 빈 공간인지를 알수 없었다.

1913년에 단마르크의 물리학자 닐스 보르가 원자모형을 발표한 다음부터 결정의 건설블로크들의 본질을 결정하는것은 특히 중요하게 제기되였다. 만일 결정구조가 살창점들에 있는 원자들로 이루어져있다는것을 보여줄수 있다면 보르의 모형이 옳다는것이 확인될것이고 과학은 물질이 전체적으로 하나의 고체를 이룬다는 리론을 포기할수 있을것이였다.

1912년에 막스 폰 라우에는 처음으로 X선을 리용하여 결정물질을 연구하였다. 라우에는 X선을 결정에 쪼이면 에돌이를 일으킬수 있다는 사상을 제기하였다. 그는 이러한 사상을 실험했으며 X선들

이 사진건판에 결정의 방위와 대칭에 의존하는 반점무늬들을 보여주면서 여러 방향으로 산란된다는것을 발견하였다.

실험은 결정들이 고체가 아니며 결정물질에는 살창점들사이에 상당히 빈 공간이 있으며 살창자리들을 차지하는 원자들로 이루어져 있다는것을 단번에 확증하였다. 나아가서 결정의 원자배렬들은 빛을 에돌이시킬수 있었다. 라우에는 결정에 의한 X선의 에돌이의 발견으로 1914년에 노벨물리학상을 받았다.

그러나 X선이 실지로 에돌이를 일으키는가 하는것은 아직은 확증된 과학적사실이 아니였다.

윌리암 헨리 브래그는 에돌이된 빛묶음들중 하나를 기체속으로 투과시켜 기체의 이온화를 일으키는데 성공하였는데 이것은 정말로 X선들이 일으킬수 있는 효과였다. 이것은 실지로 X선이 에돌이를 일으킨다는것을 최종적으로 증명하는데 기여하였다. 그는 또한 이러한 목적을 위하여 자기가 만든 분광계를 리용하여 X선들의 특수한 파장들을 검출하고 측정하였으며 결정들의 어떠한 배렬이 가장 강한 반사를 일으키는가 하는것을 알아내였다. 그는 보임빛선과 마찬가지로 X선이 전자기스펙트르의 일정한 부분을 차지한다는데 주목하였다. 브래그의 대다수 연구는 실지로 X선을 리용하여 결정구조를 알아내는데 집중되였다.

그의 아들 로우렌스 브래그도 역시 이 새로운 현상에 커다란 흥미를 가지고있었다.

1912년에 그는 반점들의 무늬가 X선들이 결정안에서 원자면들로부터 반사된다는것을 보여주고있다는 사상을 제기하였다. 그것이 사실이라면 라우에의 그림들은 결정들의 구조에 대한 정보를 얻는데 리용할수 있을것이였다. 브래그는 X선들이 결정에 의해 가장 효과적으로 에돌이할수 있는 각들을 묘사하는 방정식을 얻어냈다. 이것은 결정의 X선분석의 출발이였다.

윌리암 헨리 브래그는 자기의 분광계를 리용하여 X선들이 립자적본성을 가지는지를 결정하려고 하였다. 이 장치는 곧 라우에 사진법보다 결정을 분석하는 훨씬 유력한 방법으로 된다는것이 명백해졌다.

그후 아버지와 아들은 힘을 모아 새로운 과학분야인 X선결정학을 창시하였다. 이 기술을 리용하여 실험하는 과정에 로우렌스 브래그는 만일 브라베의 살창모형을 실제 결정들에 적용한다면 결정구조는 평탄하고 규칙적으로 배렬된 평면들의 조들로 이루어진 방식들로 배렬된 원자들로 이루어진것으로 볼수 있다는 확신을 가지게 되였다.

에돌이를 리용하여 브래그부자는 많은 결정들의 구조들을 상세하게 얻어낼수 있었다. 이 발견에 기초하여 그들은 누구나 결정구조의 본성을 명백히 알수 있게 하는 선과 구들로 이루어진 결정구조의 3차원모형들을 만들어냈다. 그들의 결과들은 1915년에 《X선과 결정구조》라는 책에 발표되였다.

브래그부자가 창시한 전혀 새로운 학문분야인 X선결정학은 포괄범위와 응용이 계속 늘어나고있다.

분자들보다 원자들이 결정구조를 결정한다는 초기의 발견이 특별히 중요하였다.

브래그부자에 의하여 개발된 X선분광계들은 원자의 본질 특히 가장 아낙전자들의 내막을 밝혀내는데 리용되였다.

하여 원자에 대한 보르의 중요한 개념들중의 일부를 시기적절하게 확증할수 있게 되였다.

X선에돌이는 광물학의 기초로 되였다.

브래그부자와 라이너스 폴링과 같은 화학자들과 많은 광물학자들은 X선분광계를 리용하여 모든 중요한 광물집단의 구조를 알아내는 연구의 개척자들이였다.

X선의 에돌이는 결정물질들을 정의하는 결정적인 방법으로 되였다.

야금학은 야금학자들이 드디여 원자준위에서 여러가지 합금들의 구조적인 질서를 이끌어낼수 있게 했으며 순수한 기술로부터 과학으로 발전하였다.

X선의 에돌이는 로우렌스 브래그의 지도밑에 캐븐디쉬실험실에서 생물학분야에도 적용되였다. X선결정학은 헤모글로빈, 단백질, 비루스 그리고 마침내는 데핵산(DNA)의 2중라선구조를 알아내는데서 기본으로 되였다.

# X선형광

X선산란과 원소들의 특성렌트겐복사들을 발견한것으로 하여 1917년에 노벨물리학상을 받은 영국의 물리학자인 챨스 글로버 바클라(1877－1944년)는 X선의 중요한 물리적특성들과 물질의 원자적구조를 결정하는데 성공하였다.

윌헬름 콘라드 렌트겐, X선들의 원인과 본성에 대한 리론을 세운 저명한 영국의 수학자, 물리학자인 죠지 가브리엘 스톡스(1819－1903년), 음극선들이 가장 작은 원자보다 1천배나 더 가벼운 대전립자들로 이루어져있다는 실험적확증을 공표함으로써 과학자들을 깜짝 놀라게 하고 1906년에 노벨물리학상을 받은 영국의 물리학자이며 교원인 죠우지프 존 톰슨이 이에 대한 연구로 이름을 남기였다.

# 새로운 상태에 있는 물질

19세기에 물리학자들은 수십년동안 음극선들을 연구하였다. 그보다 훨씬 이전에 과학자들은 원자가 존재한다는것을 알고있었다. 그럼에도 불구하고 19세기 마지막 10년동안 과학자들은 여전히 음극선이나 원자들의 물리적본성을 리해하는데서 큰 난점에 부딪쳤다. 어떤 화학원소들의 원자들은 왜 보다 무거운지, 다른것들은 왜 가벼운지 알수 없었던것이다. 그 리유는 원자들이 서로 다른 물질들로 이루어져있거나 혹은 보다 무거운것들은 같은 물질들을 더 많이 가지고있기때문일수도 있었다. 화학적인 사실들은 원자들이 존재한다는데 대한 실마리를 주었다. 음극선은 원자로부터 나오는 《촉수》가 아닌가 하는 생각이 들었다.

1895년 12월에 여러가지 실마리들과 촉수들이 나타났다. 첫째로 렌트겐은 위르쯔부르그종합대학에서 X선을 발견했다는것을 보고했다. 1896년에 베크렐은 우라니움이 자발적으로 눈에 보이지 않는 복사를 낸다는것을 프랑스과학원에 보고하였는데 그것은 X선과 차이나 보이지만 X선과 마찬가지로 사진건판들을 검게 만드는것이였다. 1898년 삐에르 큐리와 마리 큐리는 겉보기에는 이미 알려진것과 같은것으로 보이는 새로운 원소들을 검출해냈다. 같은 시기에 영국에서 죠우지프 죤 톰슨은 음극선들의 연구에서 현저한 전진을 이룩하였다. 그는 실험적인 증거물로부터 음극선들이 대전립자들로 이루어져있다는 결론을 얻었다. 그는 이러한 대전립자들이 《새로운 상태의 물질》이라는것과 화학원소들은 물질로 이루어져있다는데 대하여 선언하였다.

1904년에 바클라는 새로운 일련의 실험들을 진행하여 추가적으로 X선들의 물리적특성들을 밝혀냈다. 전자기진동의 전파과정인 보통의 빛은 가로파이기때문에 상대적으로 쉽게 편극될수 있다. 즉 입사빛묶음이 90°의 각도로 산란될 때 빛을 구성하는 가로진동들은 입사빛묶음에 수직인 면에서 일어난다. 바클라는 X선이 같은 방식으로 편극될수 있겠는지 어찌겠는지 하는 문제를 연구하고 있었다. 만일 X선들이 빛과 같은 방식으로 산란된다면 그것은 X선이 전자기파라는것을 보여줄것이였다. 이것은 간단치 않은 문제였다. 바클라는 2년간의 힘든 실험을 진행하여 산란된 묶음이 강하게 편극된다는 명백한 결론에 도달하였다. 결국 X선들은 보통의 빛과 마찬가지로 가로파라는 결론을 얻었다.

# X선의 산란

20세기초에 과학자들은 X선의 본질이 무엇인가, 방사능을 어떻게 설명하겠는가 그리고 끊임없이 나오는것같이 보이는 방사를 열력학제1법칙인 에네르기보존법칙과 어떻게 조화시키겠는가 등

많은 흥미있는 문제들에 직면하게 되였다. 이러한 도전적인 과학적인 질문들이 제기되는 환경속에서 챨스 글로버 바클라는 1899년부터 1902년까지 톰슨과 함께 연구를 진행하였다.

1902년에는 리버플종합대학에 입직하여 이때부터 X선들에 대한 오랜 기간의 연구를 시작하였다.

로련한 수학물리학자 죠지 가브리엘 스톡스는 X선을 《에테르 맥동》으로 보는 리론을 제기하였다. 그는 X선은 음극선이 X선관안의 표적원자들에 의해 정지될 때 음극선이 불규칙적으로 가속되기때문에 생겨나는 불규칙적인 전자기파 임풀스라고 가정하였다. 이 리론에 따라 톰슨은 원자들에 의한 X선들의 산란을 표현하는 수학공식을 유도해냈다. 바클라의 첫 연구과제는 스톡스의 리론과 톰슨의 리론들을 실험적으로 검증하는것이였다.

이미 5년전에 죠지 싸그나는 프랑스에서 산란과 직접 관련되여있는 현상인 고체에 의한 X선들의 흡수에 대한 실험을 진행하였다. 싸그나는 2차산란된 복사가 훨씬 큰 흡수능을 가진다는것을 발견하였다. 바클라는 가벼운 기체원소들로부터 오는 2차복사는 본래 복사와 같은 흡수능을 가진다는것을 보여주었다. 그는 먼저 공기에 대하여 연구하고 다음에 수소, 이산화탄소, 이산화류황 그리고 류화수소에로 연구를 확장하였다. 2차복사가 존재하는가 하는것은 이온화량이 기구를 통해 지나가는 복사의 세기에 비례할것이라고 가정하고 검전기로 시험하였다. 복사선과 2차복사선의 흡수능을 검사하기 위하여 바클라는 얇은 알루미니움판을 리용하였다. 그는 얻은 결과들을 1903년에 발표하였다. 당시 산란이 복사의 흡수능을 변화시키지 않는다는 사실은 에테르맥동리론이 옳다는것을 보여주는것처럼 생각되였다. 같은 실험들로부터 바클라는 《이 산란은 원자의 질량에 비례한다.》는것을 보여주었다. 이것은 서로 다른 물질들의 원자들은 류사한 미립자들로 이루어진 서로 다른 계라는 리론을 지지하였기때문에 아주 만족한 결과였는데 이 리론에 의하면 원자안의 미립자의 수는 그 원자의 질량에 비례한다.

당시의 대다수 물리학자들에 의하면 이 류사한 립자들은 톰슨의

《새로운 상태의 물질》이였다.

각이한 방향에서의 2차복사의 세기를 연구하는 과정에 바클라는 탄소, 알루미니움, 류황과 같은 새로운 원소들은 방향에 따라 세기가 변한다는것을 발견하였다.

칼시움에서는 그 변화가 훨씬 작았다. 철이나 기타 무거운 원소들에서는 각이한 방향에서 그 세기의 차이가 거의 없었다. 이러한 현상들로부터 바클라는 원자의 질량과 흡수능사이의 관계를 더욱 구체적으로 연구하게 되였다.

그의 실험결과들은 보다 가벼운 원소들에 대하여 산란된 복사는 초기의 복사와 거의 류사하지만 보다 무거운 원소들에 대하여서는 초기의 복사와 아주 다르다는것을 보여주었다.

바클라는 산란된 복사(2차복사)를 보다 구체적으로 조사하면서 금속들로부터의 2차복사는 1차복사와 같은 특성을 가지는 산란된 복사를 포함할뿐아니라 금속원소자체의 특성과 관련되는 균질의 복사를 포함한다는것을 발견하였다.

## 원자량과 특성복사

한편 바클라는 역시 스톡스가 한 발견과 류사한 X선과 관련된 현상을 발견하였다. 즉 형광물질은 물질에 의해 복사되는 형광빛의 파장보다 짧은 파장의 빛을 받을 때에만 형광을 낸다는것이였다. 이 현상은 스톡스의 법칙으로 알려져있다.

바클라는 고르로운 2차복사는 입사X선이 물질자체의 특성복사보다 주파수가 더 클 때에만 일어난다는것을 발견하였다.

나아가서 바클라는 고르로운 특성복사에서 나타나는 일부 사실들을 발견하였다. 그것은 칼시움으로부터 시작하여 보다 무거운 원소들로 가면서 특성X선복사들은 하나 혹은 두개의 계렬들을 형성한다는것이였다.

칼시움(원자량 40)으로부터 로디움(원자량 103)까지는 K계렬

을 나타낸다. 은(원자량 108)으로부터 세리움(원자량 140)까지는 K계렬과 L계렬을 나타낸다.

월프람(원자량 184)으로부터 비스무트(원자량 209)까지는 L계렬을 나타낸다. K복사들은 주파수가 보다 작으며 L복사들은 주파수가 보다 크다. 원자량이 클수록 그것의 복사특성들은 주파수가 더 크다.

특성X선이 원자량과 관련되여있다는것을 보여주는 이러한 현상들은 특성X선이 원자로부터 나온다는것을 보여주었다. 사실 바클라의 발견들은 일반적으로 원자량의 약 절반으로 되는 원자번호를 매개 화학원소에 배당하는것이 옳다는것을 보여주었다.

1906년에 이러한 발견들이 있은 후에 바클라와 다른 물리학자들은 X선과 물질과의 호상작용을 연구하여 력사적인 결과들을 얻었다.

1909년과 1923년사이에 얻어진 이러한 성과들은 3단계로 나누어볼수 있다.

첫번째 단계는 X선은 결정살창과 호상작용한다는것을 인식한 단계였다. 1909년에 막스 폰 라우에는 뮨헨대학에서 일하면서 렌트겐과 광물학자들의 영향을 받았는데 그들은 라우에에게 결정고체의 구조에 대한 리론들을 알려주었다.

라우에는 고체의 구조와 X선들에 대한 연구를 결부하기 시작하였다. 그는 결정살창들이 X선에 대하여 《에돌이살창들》로서 작용할수 있다는 가정에 기초하여 수학적리론을 발전시켰다. 이러한 사상은 실험에서 확증되여 상당한 환영을 받았다. X선의 본성과 결정고체의 구조를 연구하기 위한 거대한 가능성이 열려졌다.

1912년에 라우에가 연구결과를 발표하자마자 곧 윌리암 헨리 브래그와 그의 맏아들 로우렌스 브래그는 결정학을 창시하였다. 특히 윌리암 헨리 브래그는 《이온화분광계》를 만들고 X선들의 정확한 파장들을 측정하였다.

로우렌스 브래그는 후에 그의 이름으로 불리우고있는 유명한 방정식을 유도해냈다.

브래그의 방정식은 어떤 각으로 입사시킨 X선들은 결정층에 의

해 가장 유효하게 에돌이된다는것을 말해준다.

두번째 단계는 X선이 원자들 특히 무거운 원자들과 호상작용한다는것을 인식한것이였다. 헨리 모즐리는 원자로부터의 특성 X선들을 연구한 후에 곧 브래그의 분광계를 리용하였다.

새로운 강력한 연구기구를 가지고 모즐리는 바클라와 같은 방향에서 연구하였다.

이제 와서 모즐리는 바클라의 K렬과 L렬을 정밀하게 측정할수 있었다. 이러한 측정을 크게 확장하면서 그는 모즐리의 법칙으로 불리우는 훌륭한 발견들을 하였다. 그것은 원소의 X선스펙트르를 그것의 원자번호와 관련시키는 수학공식이다.

모즐리는 또한 원소주기표에 대하여 실험적으로 검증할수 있는 몇가지 예언들을 하였다. 하지만 그는 더이상 연구성과를 남기지 못하였다.

모즐리는 마나라해와 에게해를 잇는 해협인 다디넬즈에서 제1차세계대전기간에 비참하게 전사하였던것이다.

후날 X선분광학에 대한 연구와 그것의 해석에 대한 연구들은 1924년에 노벨물리학상을 받은 칼 만네와 게오르그 지그반에 의해 이루어졌다.

세번째 단계는 X선이 가벼운 원자(자유전자)들과 호상작용한다는것을 인식한 단계였다. 바클라는 1920년에 노벨상강연을 하면서 산란현상에서는 그 어떤 량자리론도 맞지 않는다는것을 보여주는 믿음직한 증거들이 있다고 주장했다.

3년후인 1923년에 아써 할리 콤프톤은 바클라의 말이 틀린다는것을 증명하였다.

콤프톤은 입사X선들과 2차X선들을 비교하는 실험들에서 특히 X선이 가벼운 원자들에 의해 산란될 때의 비교실험에서 바클라와 같은 실험을 하였다.

콤프톤은 분광계를 가지고 실험을 진행했고 리론적으로는 포톤(빛량자)의 개념을 리용했으며 1927년에 노벨물리학상을 받았다.

# 우주의 마이크로파배경복사

1978년에 노벨물리학상을 공동으로 받은 도이췰란드출신의 라지오천문학자인 아르노 에이. 펜지아스(1933－)와 미국라지오천문학자인 로버트 더블류. 윌슨(1936－)은 하늘은 우주가 《대폭발》로 시작되였다는 견해를 립증하는 균일한 배경복사로 가득차있다는것을 발견하였다.

이들과 함께 프린스톤대학 실험물리학자인 로버트 에이취. 딕크(1916－1997년)가 이에 대한 연구로 이름을 남기였다.

# 잡음은 어디서 오는가?

1961년에 펜지아스는 우주에서 가장 많은 원소인 은하계사이에 있는 수소로부터 오는 라지오신호를 증폭하고 측정하는데서 메이자를 리용하는것과 관련한 박사론문을 완성하였다. 그는 1978년에 노벨상강연에서 장치를 완성한 결과에 관측들이 더 잘 진척되게 되였다고 지적하였다.

메이자와 레이자의 연구로 1964년에 노벨물리학상을 받은 챨스 하드 타운스의 제의에 따라 펜지아스는 벨연구소에서 일하게 되였다. 그는 그 연구소에 있는 6m의 나팔모양의 라지오안테나를 리용하여 이미 자기 론문에서 시작한 관측들을 계속할것을 바랐다.

윌슨도 메이자를 리용하여 약한 천문학적라지오신호들을 증폭하고있었다. 윌슨은 우리은하계로부터 오는 라지오신호들의 지도를 만드는 일을 돕고있었다. 그도 펜지아스와 같은 연구를 위하여 나팔모양안테나를 리용할것을 바랐다. 벨연구소에서 펜지아스와 윌슨

은 자기들의 시간의 절반을 라지오천문학분야의 연구에 바쳤다. 1963년에 펜지아스와 윌슨은 벨연구소로부터 그 회사의 나팔모양라지오안테나를 리용하여 우리은하계로부터 오는 라지오파들을 연구하도록 허가를 받았다. 나팔모양안테나는 지구를 돌고있는 큰 기구로부터 오는 약한 라지오신호들을 받아들여 증폭할 목적으로 1960년에 처음으로 설계되였다. 메아리로 불리우는 초기의 이 장거리통신위성은 《피동형중계기》에 의하여 대단히 먼 거리에 라지오신호를 보내는데 리용되고있었다. 메아리체계는 들어오는 신호들을 증폭하는 첫 원거리통신위성인 텔스타로 교체되였다. 그렇지만 당시 메아리는 사실상 세계에서 가장 감도가 높은 라지오망원경이였다.

1963년에 이르러 섬세한 관찰을 진행할수 있게 된 펜지아스와 윌슨은 안테나에서 여러가지 《잡음》원천을 검출하고 그것을 측정하기 시작하였다. 하나의 잡음원천은 안테나자체에서의 열잡음이였다. 즉 안테나의 원자들의 전자들은 약한 라지오신호들을 발진시키는 무질서한 열운동을 하고있었다. 메아리에 대한 연구를 맡은 기사들중의 한사람인 이. 에이. 옴은 이미 1961년에 3K의 《과잉》의 잡음이 있다는것에 주목을 돌리였었다. 메아리연구과제의 임무를 뒤집어엎기에는 모순점들이 많았기때문에 그것의 관찰에는 별로 주목을 돌리지 않았다. 그러나 이러한 과잉의 잡음을 확인하고 제거하는것은 펜지아스와 윌슨이 시도하던 감도높은 천문학적관찰을 하는데서는 매우 중요하였다.

그러나 그들은 안테나가 련속적으로 약 3K정도의 과잉의 잡음을 련속 복사한다는것을 알고 놀라게 되였다. 하지만 그것이 전혀 뚜렷한 구조가 없고 우연적인 신호였기때문에 잡음이라고 보았다. 펜지아스와 윌슨은 많은 시간과 노력을 들여 이 잡음의 원천을 찾아내려고 하였다. 뉴욕방향으로 안테나를 향하게 하니 아무런 보충잡음도 관찰되지 않았다. 그리하여 인공적인 원천을 없애는데 성공하였다. 그들은 다음에는 은하계와 지구대기권밖의 라지오원천들로부터 오는 복사를 제거하였다. 이때 그들은 《나팔》안에서 한쌍의 비둘기들이 살아가고있다는데 주목을 돌리였다. 혹시 비둘기들이 이러한 무질서한 잡음의 원인으로 될수 있지 않을가?

그들은 비둘기들을 잡아 안테나가 있는 곳으로부터 몇mile 떨어진 곳에 가져다가 놓아주었는데 다시 자기의 집인 안테나로 돌아가는 것이였다. 안테나안의 비둘기똥마저 깨끗이 청소하였지만 잡음량에서는 여전히 변화가 없었다. 펜지아스와 윌슨은 마침내 비둘기들을 죽이기로 결심하였다. 그러나 비둘기들이 죽은 후에도 여전히 잡음은 없어지지 않았다. 즉 그들이 안테나들을 향하게 한 곳마다에서 그들은 과잉의 희미한 소음을 관측하였다. 모든 방향에서 전체 우주가 자기들을 놀려주고있는것처럼 생각되였다.

그들은 잡음을 없애기 위하여 안테나의 조임련결점들을 모두 금속테프로 배치하였다. 첫 과잉의 잡음을 측정한 때로부터 1년이 지나 1965년이 되였다.

오래동안의 관찰결과에 두개의 추가적인 잡음원천이 제거되였다. 첫째로 태양계안의 임의의 잡음원천은 지구가 자리길을 따라돌 때 변화를 나타낼것인데 그런 변화는 전혀 보이지 않았다. 둘째로 과잉의 잡음이 1962년의 핵시험으로부터 온것이라면 핵시험으로부터 나온 라지오복사가 감소되여감에 따라 그 잡음도 감소되여야 할것이다. 그러나 역시 변화가 없었다. 이것을 밝힘으로써 펜지아스와 윌슨은 완고한 잡음원천을 추적하는데서 이룩한 연구성과로 하여 후에 노벨물리학상을 받았다.

그들의 《대답》은 그 잡음이 기구의 오차나 무질서한 잡음이 아니라는것이였다. 펜지아스와 윌슨이 측정한것은 사실상 모든 방향으로부터 오는 마이크로파스펙트르령역안에 있는 균일한 라지오신호였다. 그들은 마싸추세트기술연구소의 버나르드 버크에게 전화를 하여 신비스러운 잡음에 대하여 말하였다. 그때 버크는 프린스톤종합대학에서 로버트 에이취. 딕크와 함께 일하는 피. 제이. 피블즈의 연구에 대하여 들은 내용이 생각났다. 낮은 준위의 배경복사가 대폭발의 잔류물로서 우주에 존재할것이라고 예언한 딕크와 피블즈의 연구에 대하여 알게 되였을 때 그들은 마침내 자기들이 무엇을 풀었는가를 알게 되였다. 그들은 비둘기똥을 청소하다가 금을 찾아냈는데 이것은 많은 사람들의 경험과는 정반대인것이였다.

펜지아스와 윌슨은 우주가 약 10K의 배경복사로 가득차있어야 한다는것을 계산하여 이미 인쇄한 피블즈의 론문을 받았다. 이 복사는 뜨겁고 고밀도로 되여있었던 첫 몇분간의 우주의 생활 즉 소위 대폭발의 여파라고 생각되였다.

펜지아스와 윌슨의 우주마이크로파의 측정은 과학의 력사에서 우연적인 발견이 이룩된 흥미있는 실례였다. 1965년의 측정이 있기 이전에 적어도 20년동안의 수많은 사건들에 대하여 리론가들과 실험가들은 다같이 3K의 우주복사가 있다는데 대한 《증거물》을 찾아내려고 애썼다. 측정을 완성한 후 펜지아스와 윌슨은 미국의 물리학자 죠지 가모브와 1940년대 후반기의 다른 학자들의 론문을 연구하였는데 그 연구들에서는 5K의 배경복사가 있다는 것을 예언하였다. 쏘련과 영국의 천문학자들도 역시 약 5K의 배경복사가 있어야 한다는것을 보여주는 계산들을 진행하였다. 아마도 가장 흥미있는것은 1940년에 딕크자신이 한 측정이였을것이다. 최대배경우주복사에 대한 그의 측정은 지구의 대기층에 의한 라지오신호의 흡수에 대한 연구의 부산물이였다. 1960년경에 그는 20년전에 자신이 한 측정자료들을 잊어버리고있었다.

그러나 펜지아스와 윌슨에 의한 우주마이크로파배경복사의 측정은 20세기에 가장 중요한 과학적발견들중의 하나로 인정되고있다. 우주마이크로파배경복사가 발견된것을 은하계들이 서로 달아난다는 미국천문학자 에드윈 포웰 하블이 처음으로 보여준것과 결합하면 그것은 우주의 대폭발모형에 대한 강력한 증거물을 제공한다. 1970년대 중엽에 대폭발리론에 새로운 이름이 붙게 되였는데 천문학자들은 지금 그것을 우주의 표준모형이라고 부르고있다.

1950년대에 많지 않은 과학자들이 초기우주를 연구하는데 많은 시간을 바치고있었다. 초기우주의 개념을 안받침하는데 필요한 충분한 실험적 및 리론적증거물이 없었다. 펜지아스와 윌슨의 측정이 있은 때로부터 10여년동안에 대폭발모형은 수많은 다른 물리학자들의 연구에 의하여 발전되였다. 초기의 우주는 지금 연구할 가치가 충분한 과학연구분야로 되였다.

# 우주는 팽창한다

에드윈 포웰 하블(1889－1953년)은 멀리 떨어져있는 은하계들이 우리은하계로부터 그것들까지의 거리에 따라 결정되는 속도로 우리은하계로부터 멀어지고있다는것을 발견하였다.

미국의 천문학자인 웨스토 멜빈 슬리퍼(1875－1969년), 헨리따 스원 리비뜨(1868－1921년)와 함께 벨지끄의 우주학자인 죠지 레메이트로(1894－1966년), 도이췰란드출신의 미국천문학자인 왈터 바아드(1893－1960년)가 이에 대한 연구로 이름을 남기였다.

## 증거는 무엇인가?

1929년에 하블은 우리은하계로부터 멀리 떨어져있는 은하계일수록 우리은하계로부터 더 빨리 달아난다는것을 보여주는 론문을 발표하였다. 이것은 우주가 팽창하고있다는것을 암시하는것으로서 아주 중요한 발견이였다.

이 발견은 1927년에 죠지 레메이트로가 내놓은 리론을 확증하였는데 이 리론은 그후 1948년에 죠지 가모브에 의하여 우주발생에 대한 리론인 대폭발리론으로 발전하였다.

하블은 슬리퍼가 별들까지의 거리를 측정하는 방법으로 리용한 별스펙트르사진들을 연구하는 과정에 이러한 발견을 하게 되였다.

은하계들까지의 거리를 측정하는 최초의 열쇠를 준것은 리비뜨의 연구였다. 1911년과 1912년에 리비뜨는 쩨페우스변광별을 분석하였는데 이 별은 예언할수 있는 주기를 가지고 그 밝기가 변

하는 별이다. 리비뜨는 순환주기에 따르는 순서로 별들을 배렬하였다. 이 녀성과학자는 주기에 따라 별들을 배렬하면 실제적인 혹은 절대적인 밝기순서로 그것들이 배렬된다는데 주목을 돌리였다. 그는 쩨페우스의 주기가 측정되고 별의 실제적인 밝기가 결정되면 그 거리를 보여주는 겉보기밝기와 비교하는 방법으로 후에 《주기－밝기도표》로 불리우게 된것을 발견하였다.

슬리퍼가 1913년에 시작한 《적색변이》 측정은 멀리 떨어져있는 은하계일수록 더 빨리 달아난다는것을 보여주었다.

그러나 슬리퍼는 거리를 측정하는 확실한 방법을 가지고있지 못하였으므로 이 관계를 증명할 방법이 없었다. 하블에게는 거리측정결과들을 적색변이와 비교해야 할 과제가 나섰는데 그것을 푸는 과정에 그는 현재 《하블의 법칙》으로 불리우는 법칙을 발견하게 되였다.

하블은 캘리포니아의 파싸데나 가까이에 있는 윌슨산우에서 152㎝의 망원경을 리용하여 1919년에 연구를 시작하였는데 그때가 바로 그가 제1차 세계대전에 참가하고 돌아온 시기였다.

다음에 그는 같은 위치에서 254㎝의 후커망원경을 리용하였다. 그는 새별, 기체별구름과 관련된 별들 및 변광별들과 같은 우리은하계안에 있는 대상들을 연구하였다.

1922년에 이르러 그는 기체별구름들과 그보다 멀리 있다고 생각하고있던 기체별구름들사이에 차이가 있다는것을 보여주는 론문을 발표하였다.

## 하블상수

1928년에 리비뜨의 주기－밝기도표를 리용하여 하블은 안드로메다별구름이 지구로부터 900 000l.y.이상 떨어져있다고 평가하였다.

이 수자는 네데를란드의 천문학자 쟈코브스 코르넬리스 캡테이가 우리은하계에 대하여 계산한 50 000l.y.의 직경과 미국의

천문학자 하를로우 샤플리가 계산한 200 0001. y. 보다 훨씬 더 큰 수자이다.

하블은 후에 자기의 평가를 750 0001. y. 으로 고치였다. 지금은 하블의 평가가 너무 작다는것이 알려져있다. 왜냐하면 1952년에 왈터 바아드가 서로 다른 절대적인 밝기를 가진 두가지 형태의 쩨페우스변광별이 있다는것을 보여주었기때문이다.

결과적으로 안드로메다별구름까지의 거리에 대한 현대적인 평가는 2백만1. y. 이다. 그러나 중요한것은 하블이 안드로메다가 우리은하계밖에 있다는것을 확증하였다는것이다. 후에 후커망원경을 리용하여 하블은 별들안에서 별구름의 일부 변두리들을 해석할수 있었다. 1929년경에 그는 약 2천만1. y. 의 거리에 있는 23개의 은하계를 측정하였다. 1931년경에 하블과 밀튼 엘. 후마슨은 1억1. y. 거리밖에 있는 약 40개의 새로운 은하계들의 속도를 측정하였다.

믿을만한 측정에 기초한 그들의 중대한 발견은 이러한 속도를 가진 26개의 은하계들이 8개의 성단안에서 발생한다는 사실이였다. 같은 성단안에 있는 별들은 같은 속도로 움직인다고 가정하였기때문에 같은 성단안에 있는 서로 다른 별들에 대한 적색변이들을 측정하는것은 그들의 결과들의 정확도를 검사하는 좋은 방도였다.

하블은 은하계들이 달아나는 속도가 《하블상수》라고 불리우는 상수에 의하여 거리에 정비례한다는것을 발견하였다.

그는 그 속도를 매 100만1. y. 거리에 대하여 170㎞/s라고 평가하였다. 현대의 값은 100만1. y. 당 15㎞/s이다. 그의 초기상수값은 우주의 나이가 2조년이라는 결론을 주었는데 이것은 지질학자들이 지구의 나이에 대하여 얻은 3조 혹은 4조년보다 훨씬 작다. 하블의 수값은 바아드가 두개의 별집단을 발견한 결과에 상수의 크기가 훨씬 작다는것을 보여줌으로써 우주의 나이가 하블이 평가한것보다 훨씬 더 크다는것을 보여주기 전까지 그대로 남아있었다.

오늘 윌킨슨의 마이크로파검사에 의하여 진행한 측정을 통하여 우주의 나이는 137조년이라고 보고있다.

우주가 팽창한다는것을 밝힌것은 20세기 천문학이 거둔 가장 의의있는 성과들중의 하나이다.

거리척도를 확정하는것은 우주의 본질을 리해하는 열쇠였다. 따라서 하블은 외은하천문학의 창시자로 되였다.

하블은 우리은하계밖에 흥미있는 대상들이 있다는것을 추측한 첫 사람은 아니였다. 많은 천문학자들은 공간에 흩어져있는 희미한 빛반점들인 《별구름》들은 우리은하계의 령역밖에 있는 별들의 《섬우주》들이라는 윌리암 허쉘의 생각이 옳다고 생각하고있었다.

1920년대 중엽에 레메트르는 우주가 처음에 초고밀도의 《극히 작은 우주》로부터 현재의 우주에로 팽창되였다는 리론을 세웠다. 20년후에 그것은 대폭발리론으로 확장될수 있었다.

## 주기－밝기도표

1902년에 헨리따 스원 리비뜨는 하바드대학 천문대의 고정직원으로 일하게 되였다. 이 녀성과학자는 정확하게 예언할수 있는 방식으로 밝기가 시간이 지남에 따라 변하는 별들인 변광별들을 연구하고있었다. 하바드에서 일하는 기간에 리비뜨는 시간에 따라 변하는 밝기를 측정하면서 거의 2 500개의 변광별들을 관찰하고 사진찍었다.

그는 하바드의 뻬루비안천문대로부터 수집한 큰 마젤란성운과 작은 마젤란성운의 사진들을 가지고있었다.

마젤란성운들은 남반구에서 볼수 있는 대단히 작은 은하들이며 우리은하계에 가까운 별들이다. 작은 마젤란성운은 1.25일로부터 127일까지에 이르는 예언할수 있는 주기를 가지는 17개의 쩨페우스변광별들을 가지고있었다.

리비뜨는 17개의 별들의 해당한 주기동안에 그것들이 밝아지고 어두워지는것을 주의깊이 측정하였다. 그는 마젤란성운들안에 있는 다른 쩨페우스들의 사진을 모아 추가적인 주기－밝기연구

를 진행하였다. 1912년 3월 3일에 제출한 보고에서 그는 다음과 같이 썼다.

…이 대상들을 측정하고 론의하는것은 두개의 령역이 포괄하고있는 구역이 대단히 크다는것과 그것들안에 포함되여있는 별들이 극히 빼곡하게 차있다는것, 변화가 매우 희미하며 그것들의 주기가 매우 짧기때문에 대단히 힘든 문제로 되고있는것이다. 그것들의 대다수의 밝기는 15등급을 넘지 않으며 기껏해서 13등급을 약간 넘기때문에 오래동안 로출해야 하며 쓸모있는 사진들의 수는 적다. 이러한 희미한 정도의 련속적인 비교별들은 넓게 퍼져있기때문에 그것들의 절대크기를 결정하는것은 오래동안 할수 없었다. 그러나 북극성에서 별들의 절대등급을 리용함으로써 그것을 결정하는 방법을 찾아낼수 있었다. …

네데를란드에 있는 라이덴종합대학의 에즈나르 헤르쯔슈프룽과 캘리포니아의 파스데나에 있는 윌슨산천문대의 헨리 노리스 라쎌은 독립적으로 별의 밝기와 그 스펙트르등급사이의 관계를 발견하였다. 그들의 실험결과들은 화학주기표와 동등한 헤르쯔슈프룽-라쎌의 별의 빛세기도표인 천문학적인 주기표를 가져다주었다.

그들의 등급표에 따라 대다수의 별들은 주계렬밝기의 순환주기를 따라 놓여있었는데 거기에는 태양보다 1만배나 밝은 극히 밝은 푸른 별들로부터 태양보다 1천배나 어두운 붉은색별들까지 배렬되여있다.

리비뜨는 마젤란성운들로부터 많은 쩨페우스변광별들의 매개에 대하여 밝기들과 변하는 밝기의 순환주기를 세심하게 측정하였다. 세심한 측정에 기초하여 그는 쩨페우스주기에 대한 쩨페우스밝기를 그라프적으로 그렸다.

그는 《이 변광별들의 밝기와 주기의 길이사이에는 뚜렷한 련관이 있으며 보다 밝은 변광별일수록 더 긴 주기를 가진다.》는것을 주목하였다. 그는 쩨페우스의 겉보기밝기는 그것의 주기의 길이 즉 밝기와 어두움의 한 순환이 진행되는데 걸리는 시간에 정비례한다는것을 발견하였다.

윌슨산천문대의 천문학자 할로우 샤플리는 쩨페우스를 포함하는 움직이는 별집단들까지의 거리를 측정하고 쩨페우스까지의 거리들을 쩨페우스 주기—밝기자료와 련관시켰다.

이 실험들로부터 샤플리는 쩨페우스의 주기—절대밝기곡선을 만들었는데 그 결과에 특수한 측정주기를 가지는 쩨페우스변화를 곡선에 그릴수 있게 되였으며 그것의 절대밝기를 얻을수 있게 되였다.

쩨페우스의 겉보기절대밝기를 알면 곧 그곳까지의 거리를 계산할수 있으므로 개별적인 쩨페우스변광별들을 포함한 별집단안의 모든 별들까지의 거리를 곧 계산할수 있었다.

우리은하계와 다른 은하계들안의 쩨페우스별들까지의 거리가 곧 결정되였다.

샤플리는 이 거리를 리용하여 우리은하계의 중심이 사수별자리를 향해있으며 태양은 우리은하계 중심으로부터 대략 3만l. y. 의 거리에 위치하고있다는것을 결정하였다.

하블은 우리은하계와 다른 은하계들사이의 거리를 평가하기 위한 기술을 적용하였는데 그것은 우주가 팽창하고있다는 천문학적발견을 가져왔다.

# 지구온난화

슈꾸로 마나베(1931－)와 리챠드 웨데랄드(1936－)는 대기중에서 이산화탄소가 증가하면 온실효과를 나타내며 따라서 지구온난화를 가져온다는것을 발견하였다.

미국기후학자인 스티븐 헨리 슈나이더(1945－), 스웨리예물리화학자인 스완테 아우그스트 아레니우스(1859－1927년)들도 이에 대하여 연구하였다.

# 대기의 모형화

지구의 기후는 복잡하고 착잡한 물림새를 가지고있으며 많은 인자들이 그 거동에 영향을 준다.

기후학자들은 지나간 시기의 기후의 양식들을 보고 그 물림새가 어떻게 이루어지며 앞으로 기후가 어떻게 변하겠는가를 리해하려고 시도한다. 나아가서 기상학자들은 자기들이 생각한 물림새가 각이한 환경에 어떻게 반응할것인가를 보기 위하여 콤퓨터모의를 리용한다. 기후학자 마나베와 웨데랄드는 이산화탄소의 증가가 기후에 주는 효과를 예언하기 위한 시도로서 대기의 모형을 처음으로 리용한 사람들이다.

과학자들이 이산화탄소는 화석연료가 탈 때 대기중에 형성되며 지구의 온난화를 일으킨다는것을 처음으로 제기한것은 20세기 초엽이였다. 아레니우스는 1896년에, 챔베를린은 1899년에 화석연료가 탈 때 지구의 온도에 영향을 미칠수 있다는것을 경고하였다. 그러나 오래동안 기후는 인간의 활동에 의한 그 어떤 큰 영

향도 받을수 없는 크고 안정한 계라고 보아왔다. 기후학자들은 그후 사람들이 사실상 아직은 그 원인을 충분히 알수 없지만 기후에 중요한 영향을 줄수 있다는것을 알게 되였다.

아레니우스와 챔베를린은 《온실효과》라고 부르는 현상을 처음으로 제기하였다. 1861년에 아일랜드의 물리학자 죤 틴달은 이산화탄소와 수증기가 보임빛파장들에 대해서는 투명하지만 적외선복사에 대해서는 투명하지 않다는것을 처음으로 알게 되였다. 이리하여 지구의 대기는 태양으로부터 복사되는 파장들가운데서 보임빛파장들을 지구에 도달하게 할수 있다는것을 알게 되였다. 이 보임빛은 지구에 흡수되여 눈으로는 볼수 없고 열로써만 느낄수 있는 파장이 좀더 긴 적외선복사로서 지구에 의하여 재복사된다. 그런데 이 적외선복사는 이산화탄소와 수증기 그리고 탄화불소, 이산화질소, 이산화류황과 메탄과 같은 다른 《온실》기체들때문에 쉽게 대기를 통과하여 빠져나갈수 없다. 이러한 기체들은 적외선복사를 흡수하고 그것을 다시 지구를 향하여 재복사하는데 이 열은 지구겉면가까이에 가두어지게 되며 달아날수 없다.

일정한 량의 이산화탄소는 지구우에 있는 생명에 유익하다. 그러나 과학자들은 너무 많은 량의 이산화탄소는 처리하기 힘든 온도의 증가를 가져올수 있다는것을 알고 놀라게 되였다.

1960년대에 과학자들은 대기가 어떻게 동작하는가 하는 모형을 만들어내기 시작하였다. 그들은 이 모형들에 이산화탄소의 증가농도를 넣고 그 모형이 어떻게 반응하는가를 보았다. 대기의 모형은 본질에 있어서 대기의 거동을 묘사하는 방정식들의 한조였다. 온도와 대기성분과 같은 초기조건들을 주었다. 다음에 방정식들을 풀어 결과적으로 대기의 평형상태 즉 모든 인자들이 균형이 맞으며 안정하게 되는 경우를 결정하였다. 이러한 과정들은 반복되였으며 얻어지는 기후조건은 다음의 계산에서 《초기조건》으로 리용되여 기후가 앞으로 어떻게 계속 변할것인가 하는것을 추리하게 된다.

이러한 과정을 반복하면 《반결합물림새》를 조사할수 있다. 즉

초기변화로부터 얻어지는것이 다음의 변화를 가져오는 과정을 알수 있게 한다. 실례로 이산화탄소가 증가하면 구름의 량이 증가하며 증가된 구름은 나아가서 기후의 다른 변화를 가져오는 식으로 계산에서 반결합이 이루어진다. 이러한 모형들을 리용하는데 필요한 방대한 계산들은 보통 콤퓨터로 수행된다.

1964년에 마나베와 로버트 스트리클러는 모형대기를 리용하여 기후에 대한 대기수증기의 영향을 연구하기 시작하였다. 1967년에 마나베와 스트리클러는 프린스톤에 있는 국립해양 및 대기관리소의 지구물리류체력학실험실에서 일하면서 이러한 연구결과를 련속 발표하였다.

마나베와 로버트 스트리클러는 절대습도의 분포를 고려하는 대기모형을 연구하였다. 그들은 많은 과학자들이 믿는것처럼 2020년과 2080년사이에 대기중의 이산화탄소가 두배로 되면 지구의 평균온도가 약 2.3℃ 높아질것이라는 결론을 얻었다. 서로 다른 지역에서의 증가는 이 평균으로부터 변할것인데 극지방에서 가장 크게 증가하며 적도에서 가장 적게 증가할것이다. 서로 다른 온난화는 총체적으로 공기의 순환양식을 변화시키며 결국 기후에 영향을 줄것이다.

다른 형태의 모형들도 나왔다. 서로 다른 모형들의 제작자들은 자기들의 방정식들을 세울 때 서로 다른 가정들을 하였으며 따라서 모형들은 같은 문제에 대하여 서로 다른 대답을 주었다. 이것은 1960년대 후반기와 1970년대 초에 명백해졌는데 그때 이산화탄소가 두배로 되는 결과로부터 나오는 온도상승에 대한 예언은 평균 0.7℃로부터 9.6℃의 온도범위에 놓이였다.

1975년에 기후학자 스테픈 헨리 슈나이더는 서로 다른 예언을 주는 이러한 연구들에 대하여 매 모형들에서 한 가정들을 고려하려고 시도하였으며 이러한 가정들이 현실세계와 어떻게 관련되는가 하는것을 밝혀내려고 시도하였다. 그는 예언들에서 얻어진 대부분의 변화들에 대한 해석을 찾아낼수 있었으며 대기의 이산화탄소가 두배로 증가하는 경우에 나타나게 되는 온도증가는 약 1.5℃로부터 2.4℃라는것을 찾아낼수 있었다.

전문가들은 아직도 이산화탄소의 증가에 의하여 나타날수 있는 온도변화의 크기에 대하여 또는 이러한 온도변화가 일으킬수 있는 기후에서의 정확한 후과들에 대한 견해에서 일치하지 않고있다. 그러나 대다수의 과학자들은 관측으로 얻은 증거들이 지구온난화리론을 확증한다는데 대해서는 견해가 일치한다. 자동차제조업자들과 같이 지구온난화를 부정하려고 하는 사람들조차 시장에서 해로운 물질의 방출이 적은 운수수단들을 요구하기때문에 자기들이 방출을 완화시킬 필요성이 있다는것을 인정하였다.

지구온난화가 미칠수 있는 가능한 위험성을 고려할 때 이것은 심각한 문제이다.

## 아레니우스의 견해

1896년에 스위스화학자 스완테 아레니우스는 왜 지난 시기의 빙하기들이 지질학적으로 짧은 시간주기에 일어났으며 그것들이 어떻게 대기에서의 《탄산》(이산화탄소)의 변화와 관련되여있는가를 분석하였다. 그의 결론은 지구온난화에 대한 현재의 리해를 앞당기였다.

스톡홀름물리협회에서는 가끔 빙하기가 왜 생기는가 하는 문제가 대단히 활발하게 론의되군 하였다.

아레니우스는 5～10℃의 온도변화를 설명할수 있으리라는 기대를 가지고 대기의 《탄산》(이산화탄소)의 변화가 주는 효과에 대한 예비적평가를 하게 되였다.

지질학적연구로부터 제3기 시대에 극지대들에서 지금의 온도보다 훨씬 높은 온도가 있었으며 따라서 식물들과 짐승들이 거기서 살기에 알맞는 조건이 있었다는 사실이 충분히 확증되였다. 극지대에서의 온도는 지금보다 약 8℃ 또는 9℃ 높았을것 같다. 이 온화한 시대까지 빙하시대는 계속되였으며 이것은 현재와 같거나 또는 현재보다 더 온화한 특성의 기록을 가진 긴 빙하기의 주

기에 의하여 한번 또는 여러번 중단되였다. 빙하시대가 가장 길던 시기에 현재 가장 높은 문명을 누리는 나라들은 얼음으로 덮여있었다.

사람들은 온도가 제3기와 빙하시대들에서와 같은 값을 가지기 위하여서는 얼마나 많은 《탄산》이 변해야 하는가고 물을수 있다.

간단한 계산은 《탄산》이 현재값의 2.5～3배로 증가되면 북극지대에서 온도는 약 8～9℃ 올라가야 한다는것을 보여준다.

40번째와 50번째 지층들사이에 있는 빙하시대의 온도를 얻기 위하여서는 온도를 4～5℃ 더 낮추는 공기속의 《탄산》은 그것의 현재값의 0.62－0.55배까지 줄어들어야 한다.

우리의 리론이 요구하는것과 같은 《탄산》량의 이러한 큰 변화들이 상대적으로 짧은 지질학적시기에 일어나는것이 가능하겠는가? 이 물음에 대한 대답은 교수 회그봄이 다음과 같이 주었다.

…지질학적주기사이에 계속된 《탄산》의 증가 또는 감소는 비록 중요하지 않을수도 있지만 공기속의 《탄산》의 량의 현저한 변화를 일으킬수 있으며 이것이 어떤 지질학적시대에 지금보다 몇배 더 많았거나 또는 적었다고 생각할수 있는 근거는 없다. …

구름과 수증기, 이산화탄소, 메탄 그리고 질소산화물과 같은 대기가스들은 지구겉면에 의하여 방출된 적외선복사의 일부를 흡수하며 일부는 지구에로 되돌려보내는 재복사를 일으킨다.

이 과정은 대기속으로 달아나는 에네르기를 줄이며 낮은 곳에 있는 대기를 따뜻하게 만들기때문에 통속적으로 《온실효과》라고 부른다.

화석연료들이 타면서 생겨나는 이산화탄소의 농도가 증가하는것이 지구대기의 온난화를 일으킬수 있기때문에 온실효과는 세계적인 주목을 끌고있다.

사실 과학자들은 이 현상을 온실과 비교하는것은 맞지 않는다는것을 알고있다. 온실은 유리건물안의 따뜻한 공기를 바깥의 찬 공기와 섞이지 않도록 막아준다.

실지로 존재하는 온실에서는 온도를 보존하는데서 공기를 바깥과 차단하는것이 적외선을 막아주는것보다 더 중요하다. 대기안에서 공기는 자유로이 혼합되며 움직일수 있다.

# 오존구멍

과학자들과 세계의 175개 나라 정부들의 노력에도 불구하고 매해 오존구멍은 2 730만㎢의 기록을 내고있다.

영국의 남극대륙관찰을 위한 기상학 및 오존 감시단의 상급과학자인 조나탄 샹클린이 이에 대하여 연구하였다.

# 렌즈모양의 아름다운 구름들

과학자들이 1998년에 기록적인 크기의 오존구멍을 발견했을 때 걱정하였지만 그들은 학문적으로 깊이 있는 잡지인 《Nature》에 발표된 1985년의 론문을 보고서는 더욱더 놀랐다. 영국의 남극대륙관찰을 위한 과학자들의 집단은 1977년부터 매해 봄철이면 오존의 농도가 규칙적으로 줄어든다는것을 주목하였는데 그 감소는 1984년 10월까지 총체적으로 30%까지 되였다. 이 조직의 3명의 과학자들은 과학계에 오존구멍에 대하여 통보하고 그 범위를 결정하였다. 어떤

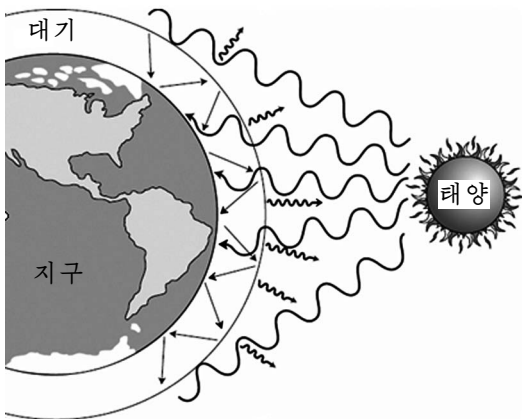



그림 14. 오존구멍

수학적모형도 그들의 보고에서 지적된것과 같은 크기의 변화가 앞으로 50～100년동안에 있을수 있다는것을 예언하지조차 못하였다. 세계기상학조직의 상급공무원 미첼 에이취. 프로피트는 《그것은 세기의 놀라움을 자아냈다.》고 말하였다.

오존층은 무서운 자외선(특히 UV－B)복사로부터 지구를 보호한다. 너무 많은 UV－B 가 지구겉면에 도달하게 되면 사람들속에서 피부암의 준위의 증가, 피부의 빠른 로화, 백내장, 면역체계의 약화 등을 가져온다. 떠살이식물은 UV－B 복사에 예민하며 그것이 높은 준위에 이르면 많은 종의 농작물들은 그 성장과 재생에서 피해를 입는다.

과학자들은 오존층에 의한 손상은 클로로과불화탄화수소(CFCs)와 그밖의 오존을 감소시키는 다른 물질들에 의하여 일어난다고 결론하였다. CFCs는 랭동기나 공기조화기들에서의 랭매(프레온)로 리용되여왔다. 다른 오존감소물질들로서는 조명장치에 리용되는 할론, 살충제에 리용되는 메탈브롬산, 전자회로기판들을 세척하고 깨끗이 건조시키는데 리용되는 용매인 염화메틸 등이 있다. 공기졸에서 CFCs를 리용하는것은 1978년에 금지되였다. 1985년 남극대륙에서의 오존구멍의 발견이 있은 다음 보다 많은 엄격한 조치들이 취해졌다. 1987년에 오존층을 감소시키는 물질에 대한 몬트리올의정서로 불리우는 조약이 채택되였다. 후에 수정에 따라 총 95개의 오존감소물질들을 없애기 위한 시기를 규정하였다.

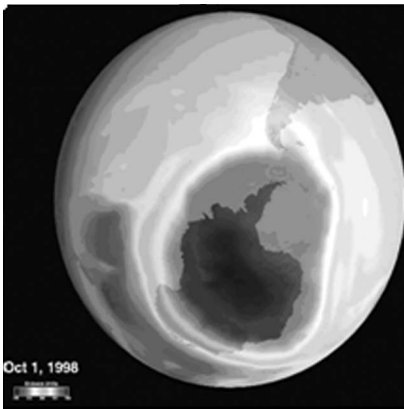



그림 15. 인공지구위성영상으로부터 얻은 남극대륙상공에서의 오존구멍(1998년)

그러나 매개 복잡한 화학적과정들은 남극의 오존구멍을 만들어내고있다. 오존층은 지구겉면으로부터 9.5㎞와 29㎞사이의 이온권안에 놓여있다. 오존은 3개의 산소

원자로 이루어져있는 물질이다. 총체적인 원기둥모양의 오존기둥의 측정은 1950년 중엽부터 돕손분광사진기를 리용하여 지구에서 진행되고있다. 1978년부터 총 오존지도작성분광기체계를 리용하여 미국항공우주국의 위성들로부터 얻어지는 측정자료들이 보충되고있다. 오존구멍들이 나타나기 시작하기 전에 평균 오존층의 두께는 300돕손으로부터 350돕손단위사이에 있었다. 남극대륙에서 오존구멍은 220돕손단위 또는 그보다 작은 단위의 오존기둥으로 정의된다. 남극대륙의 오존구멍은 계절적성격을 띤다. 오존구멍의 최대의 감소는 보통 9월말에 측정되며 구멍은 11월말이나 12월초에 사라지는 경향이 있다. 1998년에 기록된 구멍은 27.3㎢를 차지하였다. 오존감소의 깊이인 90돕손단위는 지금까지 기록된 두번째로 가장 낮은 기록이였다. 그리고 오존의 손실은 례외적으로 24㎞의 높은 고도에서 검출되였다.

CFCs와 다른 오존감쇠물질들은 공기보다 훨씬 무겁다. 그것은 지구겉면상공까지 올라가는데 약 2년 걸리며 3년부터 5년사이에 오존층에 도달한다. 남극대륙에서의 겨울에 소용돌이로 불리우는 서쪽에서 불어오는 강한 공기순환이 일어날 때에는 공기가 그 안에서 −78℃보다 낮아져서 대단히 차지게 된다. 그때에만 극의 이온권구름들이 형성될수 있다. 분홍색 테두리를 가진 남색과 풀색의 강력한 무지개빛의 렌즈모양의 이 아름다운 구름들은 치명적인 측면을 가지고있다. 남극대륙에 봄이 오면 이 구름들의 겉면에서는 화학반응이 일어난다. CFCs분자들은 파괴되면서 염소를 내보낸다. 한개 염소원자는 이온권으로부터 최종적으로 제거될 때까지 10만개이상의 오존분자들을 파괴할수 있다.

1998년에 기록된 크기의 오존구멍이 있다는것이 발표된 다음 곧 과학자들은 오존층이 10～20년동안에 심하게 감소될것이지만 그후 천천히 회복되기 시작할것이라고 예언하였다.

2050년경에는 1970년의 조건으로 돌아갈것이다. 그 회복은 모든 나라들이 몬트리올의정서의 계획을 완성하지 못하거나 또는 기후변화가 환경을 악화시킨다면 더 늦어질것이다.

1999년 후반기까지 CFCs소모는 세계적으로 84%로 떨어졌다.

그런데 2000년에 오존구멍은 2 840만㎢라는 새로운 기록을

세웠다. 이러한 기록이 있은 이후에 곧 조나탄 샤클린은 20년이후에 북극의 오존구멍이 2000년의 남극대륙의 구멍만큼 커질수 있다고 예언하였다. 이 구멍은 유럽지역과 북아메리카주 그리고 아시아지역 상공으로 확장될것이다.

1995－1996년 봄에 북극대륙에서의 오존의 손실은 처음으로 오존구멍이라고 불리울 정도로 엄중하였다. 이전에는 북극대륙에서의 오존의 파괴는 남극대륙우에서보다 훨씬 덜 심하였다. 그것은 부분적으로는 북극의 이온권이 차지 않기때문이였다.

그러나 지구겉면을 덥히는 온실가스의 증가는 이온권구름이 형성되여 오존의 감소를 가져오는 화학반응이 시작될수 있을 정도로 이온권이 더욱더 랭각되게 한다.

오존층을 련속적으로 파괴시키는 다른 하나의 인자는 성층권에서의 브롬의 준위가 커지는것이다. 오존파괴물질이 성층권안에서 파괴될 때 브롬을 형성한다. 브롬은 염소보다 50배나 더 오존층을 파괴한다.

그림 16. 1987년에 측정된 남극대륙상공에서의 오존구멍

몬트리올의정서는 브롬화메틸을 리용하지 말것을 발전도상나라들에 요구하고있다. 오존파괴를 가속시키는 다른 인자들도 보고되였다.

2000년 9월에 남극의 오존구멍은 칠레의 푼타아레나스우에로 뻗었다. 그것은 처음으로 도시를 뒤덮었다. 작은 오존구멍이 1996년에 일본의 혹가이도상공에서 검출되였으며 2000년 7월에 남극반도의 서쪽에 있는 웨델해상공에서 검출되였다. 이 보고들은 오존층문제를 다루는데서는

만족할만한 공간이나 그럴만한 때가 있을수 없다는것을 말해준다.
오존은 2개가 아니라 3개의 산소원자로 이루어진 분자이다. 지구겉면우에서 그것은 연기안개의 성분중의 하나이다.
그러나 보다 높은 대기층에서 오존은 치명적인 우주선에 대하여 화학적인 보호막을 형성한다.
1981년에 대기학자들은 남극대륙의 봄인 9월과 10월에 남극대륙의 상공에서의 오존층이 정상준위의 20%이하로 기록된것을 보고 놀라게 되였다. 이와 같은 감소는 CFCs로 불리우는 인공적인 화학물질이 대기층우에서 증가하는것과 일치한다. 이 물질은 오존을 파괴하는 원소인 염소를 포함하고있다.
염소는 자외선이 대기층우에서 CFCs분자들과 부딪칠 때 방출된다. 매개 염소원자는 수만개의 오존분자들을 파괴하면서 평균 50년동안 대기층에 남아있는다.
오존구멍은 남극대륙상공에서 발달하기 시작하였는데 그것은 대륙의 대기층이 매우 차다는데 그 원인이 있다.
물과 질소성분들을 포함하고있는 얼음립자들로 이루어진 극지방의 성층권구름들은 다만 공기의 온도가 －80℃아래로 떨어질 때 생겨난다. 이 구름들은 10～24㎞의 고도에서 찬 공기가 극소용돌이라고 불리우는 소용돌이무늬의 순환을 일으키는 남극에서의 겨울동안에 일어난다. 구름들은 따뜻한 구역들로부터 그 어떤 공기의 흐름도 없는 긴 겨울동안 지속된다. 그것들의 얼음결정의 겉면들은 CFCs와 같은 염소성분들을 저축한다.
봄에는 태양이 얼음결정을 녹이며 자유로운 막대한 량의 염소들을 내보내는데 그것은 오존층을 급속히 파괴하므로 오존구멍을 만들어낸다.
여름에 따뜻한 공기는 극소용돌이를 멈추게 하며 남반구에 있는 다른 구역으로부터 오존을 보충한다. 그러나 오존구멍의 거품들은 다시 파괴될수 있으며 오존이 있는 구역인 북쪽상공쪽으로 표류한다. 1987년이후에 CFCs의 생산은 줄어들었지만 오존구멍은 남아있다.

## 태양바람

미국물리학자인 유젠 엔. 파커(1927－)는 태양바람의 존재를 예언하였는데 그것은 1959년에 쏘련 위성에 의해 확증되였다.

도이췰란드천체물리학자인 류드위그 비에르만(1907－1987년), 영국의 수학자, 물리학자인 시드니 채프맨(1889－1970년), 인디아물리학자, 노벨물리학상수상자인 쑤브라흐마꺈 찬드라쎄카르(1910－1995년), 태양바람의 존재를 확정한 이전 쏘련위성에 대한 기본연구자인 까. 이. 그린가우즈(1925－)들이 이에 대하여 연구하였다.

## 혜성의 꼬리를 만들다

태양바람에 대한 사상이 처음으로 제기되였을 때 태양으로부터 대전립자들의 안정한 초음속흐름이 나온다는 개념은 쉽게 받아들이지 못하고있었다. 태양바람이 위성에 의하여 확인되였을 때조차 일부 사람들은 여전히 그것은 불가능한것이라고 생각하고있었다. 지금 태양바람에 의하여 일어난다는것이 알려진 일부 사실들은 이미 1950년경에 아주 잘 알려져있었다. 실례로 북극과 남극에서의 극광들은 몇세기동안 관찰되고있었다. 혜성의 꼬리는 혜성이 어떤 방향에서 운동하는가 하는데 관계없이 항상 태양으로부터 달아나는 방향으로 향한다는 사실은 이미 알려져있었다. 지구자기마당에 영향을 주며 전신선이나 출력선들에 전압을 유도하는 자기폭풍들이 관찰되였다. 이러한 사건들이 일어나는데 대하여 과학자들은 태양이 그 원인이거나 적어도 태양이 그러한 사건들에

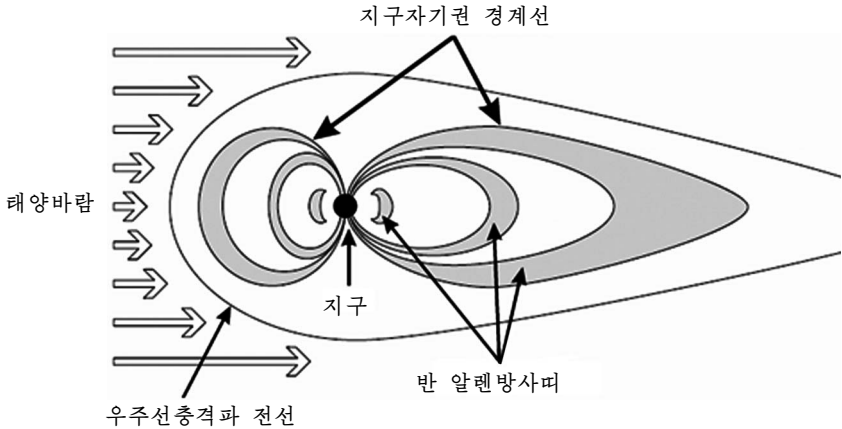



그림 17. 지구자기권에서 태양바람의 효과

관여하고있다는것은 알고있었으나 그것이 어떻게 관여하는가 하는 것은 알지 못하고있었다.

1957년에 파커는 시카고종합대학의 물리학부교수였다. 그는 지구자기마당의 기원과 태양의 대기 및 우주선들을 연구하고있었다. 뮨헨에 있는 막스 보른명칭 천체물리학연구소의 책임자인 루드위그 비에르만은 같은 해에 시카고종합대학을 방문하고있었다. 그는 혜성의 꼬리에 대한 자기의 연구에 대하여 파커에게 말하였다. 혜성들은 본질상 바위먼지와 얼음으로 이루어진《더러운 눈덩이들》의 덩어리이다. 혜성이 태양가까이에 있을 때 태양열은 얼음을 증발시키는데 그것은 먼지립자들을 방출하며 이렇게 나온 증기와 먼지가 결국 혜성의 꼬리를 이룬다. 태양복사는 또한 꼬리에 있는 원자들을 이온화시켜 저녁하늘에 가장 극적인 광경을 펼쳐놓는다.

비에르만은 왜 혜성의 꼬리가 언제나 태양으로부터 반대방향으로 향하는가, 심지어 꼬리의 방향이 혜성의 운동방향과 같은 경우에조차 그렇게 되는것은 무엇때문인가 하는것을 알아내려고 하고있었다. 그것은 태양의 전자기마당이 혜성에 복사압력을 미치기때문에 태양으로부터 멀어지는 방향으로 꼬리가 생겨나게 한다고 생각하고있었다. 천문학자들도 역시 이 압력은 대단히 작

지만 혜성의 꼬리에 비해서는 훨씬 강하다고 생각하고있었다.

그러나 꼬리에서 먼지와 기체들은 혜성으로부터 단순히 떨어지는것이 아니라 그것들은 큰 힘에 의하여 끊임없이 움직이고있었다. 그후의 비에르만에 의한 보다 상세한 연구는 혜성의 꼬리는 태양복사가 이러한 효과를 일으킬 정도로 충분한 걸면적을 가지지 못한다는것을 보여주었다. 그는 오직 하나의 다른 해석만 있다고 결론지었다. 즉 그것은 《태양화염》때에 태양으로부터 나오는 《태양에 의한 립자들의 복사》라는 결론을 내렸다. 이 립자복사는 분명히 500㎞/s의 평균속도로 태양으로부터 발사되는것이였다. 이러한 폭발은 극광과 자기폭풍을 일으킨다는것이 알려져있었다. 그러나 이런 일이 없는 나머지시간동안에는 행성사이공간이 비여있게 된다고 생각하였다. 파커는 비에르만의 리론의 영향을 받았다. 혜성의 꼬리가 태양으로부터 항상 멀어진다는 관찰과 극광이 항상 존재한다는 사실과 그밖의 우주에 대한 다른 관찰결과들을 고려하면서 파커는 행성사이공간이 언제나 태양립자복사로 가득차있어야 한다는데 대하여 생각을 같이하였다. 다음으로 그는 태양립자복사가 왜 행성사이공간에 차있으며 왜 그것이 그렇게 강하게 운동하고있는가를 알아내야 하였다.

비에르만과의 짧은 론의가 있은 다음 파커는 콜러라더의 바울더에 있는 고도관측소에 초빙되여 강의하였다. 여기서 그는 태양코로나에 대한 시드니 채프맨의 연구에 대하여 알게 되였다.

코로나는 태양을 둘러싸고있는 뜨거운 기체의 얇은 층이다. 채프맨은 태양의 바깥대기인 코로나가 지구의 자리길을 지나서까지의 공간에 뻗어있다는것을 보여주는 몇가지 계산을 파커에게 보여주었다. 코로나가 가지고있는 높은 온도로 하여 코로나는 태양의 중력마당을 극복하면서 서서히 웃층으로 팽창하게 된다.

그것의 속도는 점차 증가하여 초음속에 도달되였다.

채프맨의 결론은 신기하고 흥미있을뿐아니라 피할수 없는것으로 보이였다. 그러나 좀더 생각해보면 그것은 태양립자복사가 련속적으로 행성사이공간을 채운다는 부인할수 없는 비에르만의 결론과 모순되는것처럼 생각되였다. 두 결론은 동시에 맞을수 없을

것 같이 보이였다. 그러나 파커는 태양립자복사와 태양코로나가 확장된다는것은 같은 현상이라고 믿고있었다. 그것들은 둘다 그가 이름지은바와 같이 《태양바람》이였다.

1958년에 파커는 《행성사이기체와 자기마당의 운동학》이라는 제목의 론문을 썼다. 그는 채프맨과 비에르만의 연구결과를 리용하였으며 초당 몇백㎞의 초음속태양바람이 있다는것을 보여주는 방정식을 유도하였다. 천체물리잡지에 낸 파커의 론문이 나온 다음 남은것은 실지로 태양바람을 눈으로 보는것뿐이였다. 이전 쏘련과학자 그린가우즈에 의하여 설계되고 루나위성에 적재된 기구들은 파커가 예언한것처럼 60㎞/s이상의 초음속의 빠른 속도로 지구를 지나 달아나는 기체를 처음으로 검출하였다. 태양바람의 발견은 극광과 자기폭풍 및 혜성의 꼬리들의 거동에 대한 정확한 해석을 주었으며 별들에 대한 우리의 지식을 보충해주었다. 대다수의 별들은 태양바람과 류사한 자체의 별바람들을 가지고있다.

전통적으로 별들은 수십억년동안 빛을 내다가 마침내는 사멸하여 안정한 상태로 넘어가는 대상들이라고 생각하고있었다. 태양바람이 발견됨으로써 별들은 대단히 활동적이라는것을 알게 되였다. 실례로 태양의 발광세기는 600분의 1정도로 변한다는것이 확정되였으며 태양과 비슷한 다른 항성들에서도 몇해사이에 100분의 1정도로 빛의 세기가 변한다는것이 밝혀졌다. 발광세기에서의 이러한 크기의 변화는 극의 얼음들이 발달하게 하여 작은 《빙하시대》를 가져온다. 사실 태양의 빛세기가 최근에 요동한다는 증거가 있다. 즉 짧은 빙하시대가 13세기에 시작되였으며 18세기 중엽에 끝났다. 짧은 빙하시대는 지구의 농업생산량에 영향을 주었으며 중국과 유럽에 식량난을 가져다주었다. 북아메리카주의 대초원들에서의 죽음의 서리들은 매해 여름에 일어나는 평범한 일로 되고있다. 태양바람에 대하여 리해하게 됨으로써 과학자들은 태양이 초당 약 100만t의 속도로 질량을 잃어버린다는것을 알게 되였다. 그러나 그것은 문제가 아니다. 태양의 크기가 거대하기때문에 태양이 당하는 손실은 그것의 초기질량의 극히 적은 량밖에 안된다.

# 레이자

《복사의 유도방출에 의한 빛증폭(Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation)》의 첫글자들을 따서 이름을 붙인 레이자는 단색성과 높은 지향성 그리고 간섭성을 가진 전자기복사 빛묶음이다. 레이자는 전자공학, 의학 그리고 다른 많은 분야들에서 널리 응용되고있다.

물리학자들인 테오도르 해럴드 메이만(1927－), 챨스 하드 타운스(1915－), 아써 엘. 슈월로우(1921－1999년)와 조절용레이자의 발견자인 메리 스페이스(1938－)가 이에 대하여 연구하였다.

## 리론으로부터 실천에로

레이자빛묶음은 높은 지향성을 가진 단일한 파장으로 이루어져있으며 마루와 골이 련결되여있는 파동들을 가지고있는것으로 하여 다른 형태의 전자기복사들과 차이난다. 지구에서 발사된 레이자빛묶음은 지구로부터 거의 400 000㎞나 떨어져있는 달겉면우에서 몇㎞의 반점을 나타낼뿐이다. 보통의 빛은 그보다 훨씬 많이 퍼지며 달보다 몇배나 더 넓은 반점을 나타낸다.

레이자빛은 또한 그것을 집초하면 보통의 빛으로는 얻을수 없는 태양겉면의 에네르기세기보다 더 큰 거대한 세기의 에네르기를 낼수 있다.

레이자빛과 보통빛사이의 차이를 평가하기 위하여서는 임의의 빛이 어떻게 생겨나는가를 알 필요가 있다. 보통의 전등안에는 기체원자들이 포함되여있다. 불이 켜지기 위하여서는 이 원자들이

보통의 상태 즉 바닥상태보다 더 높은 에네르기를 가지는 상태에로 려기되여야 한다. 이것은 진공관에 전류를 흘려보냄으로써 이루어진다.

전류는 원자들을 보다 높은 에네르기상태에로 려기시킨다. 그러나 이러한 려기상태는 불안정하며 원자들은 순간적으로 저절로 바닥상태로 떨어지면서 여분의 에네르기를 내보낸다.

이러한 원자들이 에네르기를 방출할 때 빛이 생겨난다. 전등에 가득찬 원자들이 내보내는 빛은 무질서하며 모든 방향으로 불규칙적으로 방출된다.

형광등으로부터 태양에 이르기까지 보통의 모든 빛원천들에서 공통적인 이러한 형태의 빛을 《비간섭성빛》이라고 부른다.

그러나 레이자빛은 이와는 다르다. 레이자에서 려기된 원자들은 과잉의 에네르기를 일정한 조종할수 있는 방식으로 방출한다.

원자들은 대단히 많은 려기된 원자들이 형성될 때까지 려기상태에 남아있다. 다음에 그것들은 독립적으로가 아니라 조직적인 방식으로 에네르기를 복사하도록 자극을 받으며 모든 원자들이 내보내는 빛파동들은 마루와 골이 완전히 일치되여 같은 방향으로 움직인다. 이러한 형태의 빛을 《간섭성빛》이라고 부른다.

1958년에 컬람비어종합대학의 챨스 하드 타운스는 아써 엘. 슈월로우와 함께 집필한 리론론문에서 레이자를 만들기 위한 요구조건들을 밝히였다.

이전 쏘련에서는 부타예바와 파브리칸트가 1957년에 수은을 리용하여 빛을 증폭하였다.

그러나 그들의 연구는 2년동안 공개되지 않았으며 과학잡지에 발표되지 않았다.

그러므로 쏘련과학자들의 연구는 서방세계에서 사실상 주목을 끌지 못하였다.

1960년에 메이만은 길이가 약 4㎝, 직경이 약 0.5㎝인 원기둥막대기로 된 합성한 홍보석단결정을 리용하여 처음으로 레이자발진에 성공하였다. 평탄하게 연마한 100만분의 1㎝범위안에서 평형을 이룬 막대기의 량쪽면을 은으로 피복하여 거울로 만들었다.

자극을 받은 빛파동들은 자극을 주는 복사와 정확히 일치한다는것이 강제복사의 특징이다.

려기된 원자들의 집단으로부터 하나의 원자가 빛을 복사하면서 바닥상태로 내려온다. 그 빛은 다른 려기된 원자들중의 하나를 건드려 바닥상태로 떨어지도록 자극을 주어 빛을 복사하게 한다. 이리하여 두개의 빛파동들은 정확히 보조를 맞추게 된다. 이 두개의 원자들로부터 나오는 빛은 또 다른 려기된 원자들을 건드리며 같은 방식으로 빛을 복사하게 함으로써 결국은 전체 빛이 합성되면서 빛이 증폭된다.

첫번째 원자가 결정의 원기둥길이에 평행인 방향으로 빛을 복사한다면 량끝에 있는 거울들은 빛파동들을 앞뒤로 되돌려보내면서 빛을 더 증폭하며 끊임없이 빛세기를 증가시킨다.

원기둥의 한쪽에 있는 거울은 빛의 일부를 직선으로 강한 좁은 빛묶음을 낼수 있게 만들었다. 레이자가 나왔을 때 그것은 즉시 큰 파문을 일으켰다.

동작하는 레이자를 만들어내는데 성공하였다는 메이만의 발표에 뒤이어 18달동안에 약 400개의 회사들과 일부 정부기관들은 레이자와 관련된 일에 착수하였다.

레이자들을 개선하며 《죽음》의 빛으로부터 생명구제현상에 이르기까지의 령역을 포괄하는 응용들을 탐구하기 위한 연구들이 벌어졌다.

메이만의 레이자가 출현한 후 첫 10년동안에 사람들을 실망하게 하는것들이 더러 있었다.

레이자의 성공적인 응용은 분리된 눈의 망막을 치료하는것과 같은 일부 의학적령역과 특히 원기들과 관련한 과학적응용들에 국한되여있었다. 빛속도는 달까지의 거리를 잴 때와 같은 높은 정확도로 측정되였다.

현재 레이자는 레이자가 나온 첫 시기에는 상상할수도 없었던 기술분야들에서 자기의 위치를 차지하고있다. 실례로 레이자는 지금 콤퓨터인쇄기, 콤팍트디스크장치들 심지어 동맥치료에도 리용되고있다.

# 메이자

찰스 하드 타운스는 메이자를 발명한것으로 마이크로파령역의 물리학연구에서 국제적으로 알려져있다.

1941년부터 1947년까지 그는 벨전화실험실에서 일하면서 레이다 폭격체계들을 설계하는 연구를 활발히 진행하였다. 이러한 연구계획은 레이다의 연구시기에 나왔는데 그것은 타운스로 하여금 마이크로파분광기분야에 주목을 돌리게 하였다.

1948년부터 1961년까지 그는 컬람비어종합대학의 교수로 마이크로파물리학에 대한 연구를 계속하였으며 복사연구소의 능력있는 책임자로, 물리학부장으로 사업하고있었다.

그는 또한 천문학에도 흥미를 가지고 전자기스펙트르의 적외선 및 라지오부분들에 대한 연구를 지도하였다.

1951년에 타운스는 메이자에 대한 사상을 내놓았는데 그것은 《복사의 강제방출에 의한 마이크로파증폭(Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation)》을 의미한다.

타운스의 말에 의하면 몇그루의 떨기나무를 보면서 공원의 걸상에 앉아있던 그의 머리속에서 분자들과 원자들은 에네르기준위들사이에서 일어나는 그것들의 자연적인 진동들로 하여 《자연의 첫 방송자》로 된다는 생각이 떠올랐다.

보다 짧은 마이크로파를 얻을데 대하여 생각하면서 그는 분자나 또는 원자들의 활성을 조종할 가능성이 있지 않겠는가 하는것을 깊이 생각해보았다. 그의 생각은 옳은것이여서 결국 《메이자》라는 단어가 생겨났다.

그가 만든 첫 메이자는 고체암모니아를 활성매질로 리용한것이였다.

1958년에 타운스와 아써 엘. 슈월로우는 메이자를 광학적 및 적외선령역에서 동작하게 할수 있다는것을 리론적으로 보여주었다.

광학레이자는 이러한 연구로부터 나와서 메이자에 대한 주되는 사상을 가장 적극적으로 리용할수 있게 하였다.

메이자와 레이자는 다같이 기초과학과 통신연구에서 중요한 수단으로 되였다.

타운스는 메이자를 빛속도가 일정하다는것을 보여주는 유명한 실험인 마이클슨—몰리의 실험을 정확히 수행하기 위한 원자시계로 리용하였다.

그는 또한 라지오천문학에서 메이자를 리용하여 폭넓은 연구를 진행하였다. 메이자는 짧은 라지오파들에 대하여 극히 감도가 높은 수감기로 쓰일수 있었다.

메이자는 라지오천문학에서 대단히 중요하였으며 위성들로부터 오는 라지오신호들을 기록하기 위한 우주연구계획들에 리용할수 있다.

# 량자홀효과

자기적힘이 전류에 가해질 때 도체를 따라 흐르는 전류는 한쪽으로 기울어진다는것을 보여주는 량자홀효과는 자연의 어떤 기본상수를 정확히 측정할수 있게 하였다.

1879년에 홀효과를 발견한 미국물리학자인 에드윈 허버트 홀(1855—1938년), 1985년에 노벨물리학상을 받은 도이췰란드물리학자인 클라우스 폰 클리찡(1943—), 다른 물리학자들과 함께 옹근수 및 분수량자 홀효과가 있다는것을 보여준 미국물리학자인 로버트 베쯔 로흘린(1950—)이 이에 대하여 연구하였다.

## 량자력학은 홀효과를 설명한다

미소전자학기술이 폭발적으로 발전하면서 반도체는 가장 많이 연구되고있는 물질들중의 하나로 알려져있다. 이러한 반도체결정들에서의 기초적인 미시적현상들에 대한 지식은 반도체들을 분자준위에서 제조하고 조종하는 수준에까지 발전하였다.

실례로 규소의 특성들은 아마도 고체들중에서 가장 잘 밝혀져있다고 볼수 있을것이다. 이러한 특성들의 측정결과는 흔히 그러한 물질들의 미시적구조의 복잡한 특성과 함께 개별적인 표본의 특징을 반영하게 된다. 이러한 상세한 지식이 얻어진 조건에서 반도체에서 새로운 기초적인 현상들이 발견된것은 사람들을 깜짝 놀라게 하였다.

량자홀효과의 측정결과는 자연의 기본상수들에만 의존하며 표본의 불규칙성이나 불순물들과 같은것에는 관계되지 않는다. 고체의 특성들은 특히 그것의 기하학적형태 또는 그것의 표본의 순도, 표

본의 준비공정과 같은 많은 내적 및 외적파라메터들에 관계된다. 거시적인 표본들에서 그렇듯 뚜렷하고 섬세한 량자력학적거동이 나타나는것을 찾아낸것은 놀라운 일이 아닐수 없었다.

홀효과는 전류가 흐르는 물질이 전류의 방향에 수직인 자기마당속에 놓여있을 때 일어나는 현상들중의 하나이다. 전류와 자기마당에 수직인 방향으로 전압이 나타난다는것이 미국의 물리학자 에드윈 허버트 홀에 의하여 1879년에 처음으로 발견되였다.

이 전압과 전류의 세기의 비를 홀저항이라고 부른다. 이와 달리 우리가 알고있는 보통의 표준전기저항은 전류가 흐르는 방향에서의 전압과 전류의 비이다. 넓은 범위의 온도에서 일어나는 《고전적》홀효과에서의 홀저항은 자기마당의 세기에 따라 선형적으로 증가한다. 비례결수는 표본의 개별적특성들에 관계되며 전류를 나르는 전자들의 밀도를 특징짓는다.

고전적홀효과는 고체속의 전도전자들을 서로 독립적이며 결정살창안에서 자유롭게 떠돌아다닐수 있는 《전자기체》로 보면 잘 묘사된다. 그러나 량자홀효과의 경우에는 전자들이 전도면에 제한되는 2차원전자기체라고 볼것을 요구한다. 이것은 반도체와 절연체사이의 경계면에서 실현되는데 거기서 전기마당은 반도체의 전자들을 2차원경계면쪽으로 끌어당긴다. 전자들을 경계면에 유지하는데는 몇K의 온도이면 된다.

전자들이 10㎚정도의 두께를 가지는 제한된 면의 범위에서 운동하는 경우에는 새로운 량자력학적효과를 나타낸다는것이 1966년에 알려졌다. 전자들의 운동은 량자화된다. 즉 전자의 에네르기들은 균등하게 띠염띠염 떨어져있는 값들중의 어느 하나의 값을 가지게 된다.

《란다우준위》라고 불리우는 개별적인 에네르기를 차지할수 있는 전자의 수는 자기마당의 세기에 비례한다. 또한 마당의 세기가 커지면 란다우준위들사이의 간격도 커진다. 낮은 온도에서 전자들의 에네르기는 최소로 되며 그러므로 란다우준위들은 에네르기에 따라 차례로 채워진다.

꽉 채워진 에네르기준위가운데서 가장 높은 에네르기준위는

《페르미준위》라고 부른다. 자기마당의 세기를 증가시키면 페르미준위가 낮아지는 결과를 가져다준다. 그것은 이때 매개 란다우준위에 보다 많은 전자들이 채워질수 있기때문이다. 다른 한가지 방법은 그저 전자의 수를 변화시킴으로써 페르미준위를 변화시킬수 있다.

량자홀효과의 몇가지 측면들은 사실상 도꾜종합대학에서 일하고있던 일본의 리론가들인 쭈네야 안도, 유끼오 마쭈모도, 야수따다 우에무라에 의하여 클라우스 폰 클리찡의 실험이 있기 5년전인 1975년에 예언되였다. 그들은 모든 란다우준위들이 완전히 채워지거나 완전히 비여있으면 전기저항은 령으로 되여야 한다는것을 알게 되였다. 이와 같이 《옹근수로 채워지는》 조건에서는 홀저항은 기본상수들의 일정한 비를 채워진 준위들의 수로 나눈것과 같으며 기하학적모양에 관계되지 않을것이다.

유감스럽게도 이 리론은 근사적이였으며 실제적인 실험적조건에서 그 결과를 믿을수 있다고 생각할수 없었다. 여러가지 조건하에서도 이 효과는 극히 높은 정밀도를 가지며 확고하게 나타나는데 이런 극히 중요한 측면들은 예측할수 없었던것이다.

또한 폰 클리찡의 공동연구자 토마스 엥글레르트가 1977년에 진행한 초기의 실험들에서도 일부 표본들에서 미미한 봉우리를 볼수 있었다. 이러한 비정상적인 봉우리들은 이미 나와있던 그 어떤 리론에 의해서도 설명할수 없다고 생각하고있었다.

1970년대에는 높은 자기마당속에서 력학적압력하에 있는 규소장치들을 연구하고있었다.

1980년대에는 홀저항에서의 이상현상들을 연구할 결심을 하였다. 그가 리용한 높은 질의 표본들은 공동제작자인 시멘스연구소의 게르하르트 도르다와 케임브리지종합대학에서 일하고있던 마이클 페퍼가 만든 금속산화물반도체3극소자였다. 절연산화물층은 전압을 제공하는 금속띠와 그 겉면에 2차원전자기체를 유지하는 규소사이에 끼워넣었다.

표본들은 대체로 약 0.4㎜길이에 0.05㎜폭을 가지고있었다.

금속전극의 전압을 증가시키면 더 많은 전자들이 반도체결면에 끌리우며 페르미준위를 높여준다.

폰 클리찡은 프랑스의 그레노블에 있는 막스 플랑크연구소의 고자기마당연구소에 가서 자기마당의 세기가 지면에서의 지구자기마당의 세기의 약 1만배나 되는 20T(테슬라)의 자석을 리용하여 측정을 진행하였다.

폰 클리찡은 거의 모든 표본들에서 홀저항이 기본상수들을 옹근수로 나눈것과 몇%안에서 일치하며 페르미준위에서의 변화의 봉우리가 뚜렷하게 나타난다는것을 알게 되였다.

그후에 발표된 높은 정밀도의 결과들은 위르쯔부르그종합대학에서 보다 안정한 15T의 자석을 리용하여 얻어졌다.

측정정확도는 100만분의 5의 정도로 높아졌다. 처음에 얻어진 부정확성의 원인은 표준저항의 불안정성에 있다는것이 밝혀졌다.

# 령저항

량자홀효과의 놀라운 성질들은 리론물리학자들을 적극적인 사색에로 추동하였다. 보통 불순물은 전자를 붙잡거나 옆으로 기울어지게 하는데 그 결과에 전기저항을 높여주며 그것이 시편마다 서로 다른 결과를 주는 원인으로 된다고 생각하고있었다.

불순물이나 결정결함이 저항에 영향을 주지 않는것처럼 보이는것은 참말로 수수께끼같은 일이였다.

1981년에 마릴란드종합대학의 리론물리학자 리챠드 이. 프레잉이 한 예비적계산결과는 결정결함의 부근에 있는 《국부화상태》에 전자들이 붙잡힐수 있지만 란다우준위들이 옹근수로만 채워진다는 조건에서는 포획된 전자들에 의한 전류의 손실은 결함근방에서의 전자들의 속도가 커지는것에 의하여 정확히 보상된다는것을 보여주었다. 전자들은 류체와 비슷하게 운동하는데 이때

흐름속도는 장벽근방에서 커지며 그 결과에 총체적으로 수송되는 체적은 변하지 않는다.

리론물리학자들은 불순물들이 저항을 일으키지 않을뿐아니라 괴이하게도 그것들은 자기마당이나 페르미준위가 변할 때 나타나는 홀저항에서의 플라토의 원인으로도 된다는것을 더 알게 되였다. 국부화된 상태들은 란다우준위들사이의 저장기와 같은 역할을 한다. 페르미준위가 주어진 란다우준위의 전도준위들을 다 채우고나면 더 채울수 있는것으로는 국부화된 상태들만 남게 된다. 전도전자들은 결국 영향을 받지 않게 되며 그 결과에 페르미준위가 변할 때 전류의 세기가 일정한 값으로 남아있게 된다.

량자홀효과에서 도달된 기본상수들의 측정정확도는 그후에 $10^8$ 분의 1로 높아졌으며 그 결과에 몇가지 중요한 결과들을 주었다.

몇개 연구소에서 서로 독립적으로 진행한 실험결과에 1986년말에 이르러서는 량자홀효과가 저항의 국제적표준으로 채택되였다. 미세구조상수는 기본홀저항비와 빛속도에 의하여 련관되여있는데 이 미세구조상수는 소립자들과 전자기마당의 련관을 특징짓는 상수이다.

고에네르기가속장치에 의한 실험과 함께 미세구조상수를 보다 정확히 구한것은 전자호상작용에 관한 리론을 보다 엄밀하게 검토할수 있는 가능성을 주었다.

옹근수량자홀효과에 대한 설명이 주어진지 얼마 안되여 1982년에 벨연구소에서 일하고있던 단 씨. 쭈이, 호르스트 엘. 스퇴메르와 아써 찰스 고싸드에 의하여 분수홀효과가 발견되였다. 그들은 2차원전자기체를 얻기 위하여 이질이음이라는 시편을 리용하였는데 그것은 분자묶음결면성장기술에 의하여 만들어졌다. 분자묶음결면성장기술에서는 순수한 비화갈리움기판우에 알루미니움을 구멍으로 가지는 비화갈리움층을 성장시킨다.

이때 비화갈리움의 전자들은 구멍을 가진 반도체쪽으로 끌리우면서 경계면에 층을 이룬다. 그들이 새로 만든 장치는 결함이 적은 보다 완성된것으로서 전도특성이 개선된것이였다. 이러한 조건은 분수홀효과를 관측하는데서 결정적인것이였다. 1981년말에 그들은 자기들의 시편을 프란씨스 비터의 자기마당실험실에 가

지고가서 28T의 자석을 리용하여 측정하였다. 그들은 높은 세기의 자기마당과 1K보다 낮은 온도에서 《전자결정》을 연구하였는데 이러한 전자결정에서는 전자들의 자리길이 살창을 이룬다.

그 결과에 그들은 옹근수량자홀효과에서 관측된것과 같은 모양의 플라토와 저항의 감소를 관측하였는데 다만 그것이 란다우준위의 3분의 1 또는 3분의 2만큼 채워졌을 때에 일어났다. 그후에 다른 분수들이 많이 관측되였다.

리론적연구는 관측결과를 전자고체를 가지고서는 설명할수 없다는것을 보여주었으며 전자들의 거동에 대한 근본적으로 새로운 묘사가 필요하다는것을 보여주었다.

1983년에 로버트 베쯔 라플린이 이 결과를 아주 멋있게 설명하였는데 그는 《량자전자액체》라는 개념을 리용하였던것이다. 량자전자액체에서는 모든 전자들의 운동이 서로 밀접히 련관되여있다. 전자액체는 비압축성액체이다. 즉 이러한 액체에 압력을 주면 그것의 밀도가 커지는것이 아니라 희귀한 분수전하를 가지는 응축물이 생겨난다. 이 분수전하들은 옹근수량자홀효과에서 전자들이 노는것과 같은 역할을 놀며 그 결과에 분수값에서 플라토가 생겨난다.

이러한 결과들이 물리학에 주는 영향은 홀저항의 정확도를 높여주는것과는 대비할수 없이 큰것이다. 그 효과자체는 상업적가치가 있을것으로 기대할수 없었지만 마당효과3극소자는 다음세대의 콤퓨터에서 중요하게 리용되게 될 요소들과 본질상 같은것이다. 그리고 또한 분수량자홀효과와 고온초전도체의 물리적물림새사이에 류사성이 발견되였다.

그러한 공통점으로서는 2차원구조라는것과 저항이 매우 작다는것 그리고 거시적으로 많은 수의 립자들이 집단적인 운동을 한다는것 등을 들수 있다. 량자홀효과의 가장 중요한 의의는 높은 세기의 자기마당속에서 전자들의 거동을 리해하는데서 심오한 변화를 가져왔다는데 있다.

# 량자색력학

미국물리학자인 뮤레이 겔만(1929－)은 쿼크라고 부르는 소립자들의 특성을 설명하기 위하여 량자색력학리론을 발전시켰다.

도이췰란드물리학자인 하랄드 프리쯔(1943－), 미국물리학자인 윌리암 바딘(1941－)이 이에 대하여 연구하였다.

# 원자를 쪼개다

20세기초까지는 원자들은 더는 쪼갤수 없는것이라고 생각하고있었다. 그러나 점차 원자는 보다 작은 부분들로 이루어져있다는것을 알게 되였다. 1904년에 원자안에는 전자라고 부르는 보다 작은 립자들이 있으며 전자들은 원자의 가운데에 있는 심주위로 돌아가고있다는것이 제기되였다. 1910년에 영국물리학자 어니스트 라더퍼드는 원자의 중심에는 그가 《핵》이라고 이름지은것이 있다는것을 발견하였다. 3년후에 라더퍼드의 제자의 한사람인 단마르크물리학자 닐스 보르가 핵주위에서 전자의 자리길의 본질을 밝혀냈다. 1927년에 이르러 원자의 구조를 밝히는 문제는 크게 전진하였다. 《량자력학》이라고 부르는 새로운 과학에 의하여 원자내부의 구조는 핵과 그 주위를 돌아가는 작은 전자들로 이루어져있으며 핵은 상대적으로 무거운 양성자와 중성자로 이루어져있다는것이 밝혀졌다. 1930년에 이르러 원자의 비밀을 밝혀내는데 립자물리학이라고 부르는 새로 태여난 물리학분야가 힘을 집중하였다. 원자의 심안에는 보다 작은 립자들이 있다는것을 보여주는 여러가지 사실들이 발견되였다.

첫 립자가속장치는 1932년에 동작하기 시작하였다. 가속장치의 목적은 원자들이 극히 높은 속도로 서로 충돌하게 함으로써 그것들을 보다 작은 구성부분으로 쪼개자는데 있다. 물리학자들은 충돌과정에 나오는 립자들을 기록한다. 1960년대초에 캘리포니아공학연구소에서 일하고있던 뮤레이 겔만이 이러한 가속장치들의 실험결과를 분석하는 과정에 일련의 중요한 가정들을 제기하였다.

1963년말에 이르러 겔만은 핵안의 양성자와 중성자들이 보다 작은 립자들로 이루어졌다고 하는 리론을 발표할수 있는 충분한 근거를 가지게 되였다. 1936년에 나온 제임스 죠이스의 소설에서 나오는 이름을 따서 겔만은 양성자와 중성자를 이루고있는 이러한 립자를 《쿼크》라고 불렀다. 그는 쿼크에 대한 첫 론문을 1964년 2월에 발표하였다. 1969년에 그는 원자보다 작은 립자들의 분류에 대한 공로로 하여 노벨물리학상을 수여받았다.

# 여러가지 색의 쿼크들

겔만은 6가지 종류(맛)의 쿼크를 가정하였다. 그것은 up(우로), down(아래로), bottom(바닥), top(꼭대기), strange(이상한), charm(매력)이였다. 그것들가운데서 매개는 3가지 《색》 즉 red(붉은색), green(풀색), blue(푸른색)으로 이루어졌다. 쿼크에 《색》을 부여한것은 새로운 과학분야인 량자색력학을 낳게 하였다.

량자력학에는 실지의 맛이라는것은 전혀 없으며 마찬가지로 원자보다 낮은 준위에서는 실지의 색이라는것도 없다. 《맛》과 《색》이라는 술어들은 소립자들의 특징적인 특성량들을 나타내는것이다.

량자색력학에서는 립자들을 그것의 성질과 거동에 따라 분류한다.

겔만과 그의 동료들인 하랄드 프리쯔와 윌리암 바딘은 색의 개념을 쿼크에 대한 다른 사상들과 통합하였는데 그 결과에 핵립

자들의 모든 측면을 하나로 통합시킬수 있었다. 겔만은 1972년 9월에 이러한 량자색력학리론을 세상에 공개하였다. 량자색력학리론에서는 여러가지 색갈을 가진 쿼크들이 글루온이라고 부르는것이 만드는 속박힘에 의하여 함께 유지된다. 이 속박힘은 량자색력학리론에 대한 그 어떤 론의에서도 반드시 고려해야 하는것은 물론이고 나아가서 자연의 가장 근본적인것으로 되고있다. 그것은 립자물리학에서 나타나는 모든것을 지배한다. 글루온들은 《강한 호상작용》이라고 부르는것을 만드는데 그것은 자연에서 나타나는 네가지 힘들가운데 하나이다.

량자색력학에 의하여 가속장치들을 리용한 실험들에서 얻어진 착잡하게 얽힌 수많은 관측결과들을 설명할수 있게 되였다.

그것은 이전에 설명할수 없었던 몇가지 관측결과들을 명백하게 리해할수 있게 하였다. 나아가서 그것은 원자핵에 대하여 연구하는 사람들에게 아주 중요한 결과들을 주었다. 하여 물리학자들은 실험을 진행하기 전에 몇가지 사실들을 예측할수 있게 되였다.

이것은 그 어떤 리론에 대해서나 그것의 가치를 규정하는 가장 중요한 징표이다. 량자색력학에서 쓰는 수학적도구들은 극히 복잡하며 그것을 리용하여 말할수없이 복잡한 우연적인 사건들을 련관시킨다. 이러한 복잡성때문에 립자가속장치들에서 얻어지는 결과들을 량자마당리론의 결과들과 련관시키는것이 대단히 어려운 문제로 되고있다. 이러한 문제들을 다루기 위하여 초대형콤퓨터들이 리용되고있으나 량자색력학에서 나올수 있는 결과들은 아직 다 얻어지지 못하였다.

량자색력학은 물리리론분야에서 인간의 능력을 검토하는것으로 볼수 있는 커다란 과학적성과이다. 그것은 물리학자들이 오래전부터 꿈꾸어오던 희망 즉 네가지 호상작용의 하나인 강한 호상작용에 대한 완전한 리론을 세우고 원자핵안에서 어떻게 소립자들이 강한 호상작용을 하는가에 대하여 설명할수 있게 할것이다.

최종적인 목표는 자연에 존재하는 네가지 호상작용들을 모두 하나로 통합하여 자연에 대한 대통일리론을 세우는것이다.

# 액체헬리움

네데를란드물리학자인 헤이크 까메를링 온네스(1853－1926년)는 헬리움기체를 액체헬리움으로 전환시킴으로써 인간이 도달할수 있는 가장 낮은 온도인 절대령도에 가까운 온도에서의 물질의 연구를 시작할수 있게 하였다.

스코틀랜드출신의 화학자이며 물리학자인 제임즈 듀어도 이에 대하여 연구하였다.

# 쥴－톰슨과정

아마도 가장 잘 알려진 액화의 실례는 여름에 내리는 비라고 볼수 있는데 그것은 공기속에서 수증기가 응축되는 결과에 생겨난다.

18세기에 프랑스화학자 라부아지에는 공기를 이루고있는 다른 기체성분들도 역시 그것을 충분히 랭각하기만 하면 액체로 될수 있다고 예언하였다.

하지만 그때에는 효과적인 랭각기술이 없었기때문에 모든 기체들을 액화할수 있겠는가 하는것을 의심하고있었다. 초기에 연구자들은 기체를 압축함으로써 분자들이 서로 가깝게 접근하게 하는 방법으로 기체를 액화하려고 하였다.

네데를란드의 화학자 마르티누스 폰 마룸은 압축방법으로 암모니아를 액화하는데 성공하였지만 높은 압력하에서 공기를 액화시키려는 다른 연구자들의 시도는 실패하였다.

19세기에 기체에 대한 연구결과에 이러한 실패의 원인을 찾아낼수 있었다. 즉 기체는 그것의 온도와 압력이 그 기체가 가지고있는 특

징적인 값보다 낮아질 때에만 액화될수 있다는것이 밝혀졌던것이다. 이러한 조건은 당시에 압축된 공기에서는 얻을수 없었다.

기체를 랭각시키는 한가지 방법은 기체를 급격히 팽창시키는것이다. 입을 오무리고 손바닥을 불면서 이 효과를 보여줄수 있는데 그것은 바로 가정용랭동기나 공기조화기의 기초로 되고있다.

1877년에 루이스－폴 케일레트는 매우 급격히 팽창시키는 방법으로 산소와 질소를 액화하는데 성공하였다. 이것은 －120℃ 이하의 온도를 얻을수 있게 하였는데 이 온도에서 형성된 액체들은 급격히 증발하였다.

1883년에 뽈스까물리학자들인 로블렙스키와 올젭스키는 보다 더 개선된 케일레트형기구를 리용하여 산소의 액화를 개선하였는데 이 개선된 기구들에 의하여 기체는 액체에틸렌속에 잠근 한쪽이 닫긴 끝을 가진 관안으로 발브를 통하여 팽창되였다. 진공뽐프에 의하여 에틸렌우에 가해지는 압력을 낮추어 에틸렌을 급격히 끓게 함으로써 그것을 －130℃아래로 랭각시켰다. 이 기술은 액화된 상태로 산소를 보존할수 있게 하였다.

과학에서 이룩된 몇가지 진보는 보다 낮은 온도를 얻을수 있는 길을 열어놓았다.

첫번째 전진은 쥴－톰슨효과를 리용하는것이였는데 이 방법에서는 기체를 다공성물질안에 있는 작은 구멍들을 통하여 팽창시킴으로써 랭각시킨다. 압축된 기체를 이러한 작은 구멍으로 보내는데 그 과정에 기체는 액화된다. 액체는 플라스크안에 놓이게 되며 팽창된 기체는 다시 처음에 있었던 그릇에로 되돌아간다. 이러한 방법으로 팽창된 기체는 찬 액체－기체 혼합물과의 열적인 접촉을 이루는 열교환기액체에 의하여 랭각되게 된다.

이 효과는 여러번 반복되여 랭각효과를 높이며 많은 량의 액체를 만들어낼수 있게 한다.

이러한 형태의 장치들에 대하여 영국에서는 윌리암 험프슨과 그리고 도이췰란드에서는 1859년에 칼 파울 고트프리드 폰 린데가 독립적으로 특허를 받게 되였다.

# 듀어의 연구

1890년에 제임즈 듀어는 −240℃의 림계온도를 가지는 수소를 액화시키기 위하여 듀어병이라는 기구를 리용하였다.

그는 먼저 낮은 압력아래에서 수소기체를 액화된 공기와 열적으로 접촉시켜 수소기체를 −205℃까지 랭각시켰다.

많은 량의 액체수소를 저축하기 위하여 그는 특별한 절연성을 가지는 2중유리그릇을 발명하였다.

듀어는 액체수소에 전달되는 열을 최소화하기 위하여 벽들사이의 공간을 비우고 그것을 밀봉하였다.

그가 발명한 가치있는 그릇은 《저온보온병》 또는 간단히 《듀어병》이라고 부르는데 그것은 한세기이상 쓸모있는것으로 남아있다.

이 용기가 발명됨으로써 낮은 온도에서의 물질의 연구는 말그대로 크게 변하였다. 듀어는 표준대기압의 1%보다 더 낮은 압력의 작용을 받는 수소를 가지고 연구를 계속하였다.

이러한 압력에서 수소는 급격히 끓으며 응결된다.

이 성과는 수소보다 더 낮은 림계온도를 가지는 유일한 기체인 헬리움을 액화할수 있는 길을 열어놓았다.

듀어의 중요한 발견이 있은 때로부터 10년동안 뽈스까와 네데를란드 그리고 영국에서 과학자들은 헬리움을 액화하려고 시도하였으나 성공하지 못하였다.

한편 이 시기에 헤이크 까메를링 온네스는 네데를란드의 라이덴에 큰 연구설비를 세웠는데 그것은 막대한 량의 액체수소와 액체공기를 생산하기 위한 장치였다.

그는 보기드문 실험설비들과 능력있는 연구조 그리고 헬리움을 액화할수 있는 자신의 높은 실험기능을 리용하여 1908년에 헬리움을 액화하는데 성공하였다.

# 극단적인 액화

까메를링 온네스의 성공적인 헬리움액화실험은 먼저 75L의 액체공기와 20L의 액체수소생산을 위해 7시간을 바친 다음 1908년 7월 9일 오전 5시 45분에 시작되였다.

이 액화공기와 액체수소들은 기구와 그 기구안에 들어있는 헬리움기체를 예비적으로 랭각시키는데 리용되였다.

쥴－톰슨방법을 통한 헬리움의 순환은 오후 4시 30분에 시작되여 약 3시간후에 액체헬리움을 성공적으로 생산하게 되였다. 이 14시간동안의 실험에서 까메를링 온네스는 극단적인 액화를 실현하여 헬리움의 온도를 －268℃까지 낮추었다.

다음으로 그는 액체헬리움을 응결시키기 위하여 낮은 압력아래에서 헬리움기체를 끓이는 실험을 하였는데 이것은 론리적인것이였다.

강력한 진공뽐프를 리용하여 그는 헬리움에 가해지는 압력을 제거하였지만 응결은 일어나지 않았다.

후에 헬리움은 그때까지 알려진 모든 물질들과는 달리 표준대기압보다 약 25배 더 높은 압력하에서만 응결된다는것이 발견되였다.

헬리움을 액화함으로써 모든 기체들을 액화하기 위한 탐색은 끝났으며 낮은 온도극한 즉 절대령도근방에서 물질의 특성을 연구할수 있게 되였다.

－268℃보다 낮은 온도에서 물질들은 당시에 존재하고있던 물리리론으로써는 설명할수 없는 놀라운 물리적현상들을 나타내는데 그것은 결국 량자리론의 발전을 가져왔다.

1908년에 온네스는 －268℃에서 수은의 전기저항이 갑자기 떨어진다는것을 발견하였다.

즉 그는 초전도현상을 발견하였던것이다.

액체헬리움은 −271℃보다 낮은 온도에서 초류동성을 나타낸다는것 즉 액체흐름에 대한 저항이 급격히 떨어진다는것이 발견되였다.

1972년에 헬리움의 드문 동위원소인 헬리움−3이 역시 초류동성을 나타낸다는것이 발견되였다. 초전도성은 의학에서 인체내부를 볼수 있게 하는 정교한 영상기술을 개발할수 있게 하였으며 고에네르기물리학을 발전시킬수 있게 하였고 철길우에서 자기적방법으로 공중에 뜨는 고속렬차를 제작할수 있게 하였다.

1913년에 온네스는 헬리움을 액화한 연구성과로 하여 노벨물리학상을 받았다.

노벨상강연의 마지막부분에서 그는 1911년에 초전도현상 즉 도체를 통과하는 전류에 대한 저항이 완전히 령으로 되는 상태를 발견하게 한 실험의 일부를 발표하였다.

수소의 얼점까지 떨구는 실험들은 아주 순수한 백금이 있다면 그것의 저항이 액체헬리움온도에서 령으로 될수 있을것 같다는것을 보여주고있었다.

액체헬리움온도에서 백금의 저항을 측정하는 과정에 그는 온도가 내려갈수록 저항이 작아지며 어떤 온도에서부터는 저항이 일정하게 된다는것을 발견하였다. 남은 저항은 표본에 있는 약간한 불순물에 의하여 일어났다고 생각한 온네스는 극히 순수한 상태로 만들수 있는 표본재료인 수은을 가지고 실험을 반복할것을 결심하였다.

그는 온도가 낮아짐에 따라 저항이 작아지다가 절대령도에 가까운 온도인 4.2K에서 저항이 갑자기 령으로 된다는것을 발견하였는데 이것은 전혀 기대하지 못하였던 결과였다.

그는 이것을 새로운 상태로 고찰하고 그것을 《초전도상태》라고 불렀다.

그는 1913년에 실험을 반복하였으며 그리하여 초전도의 새로운 성질들을 발견하였다.

그는 초전도성은 특수한 물질의 속성이라는것을 알게 되였다.

석과 연은 둘다 초전도성을 나타내지만 매우 높은 순도를 가질 때에조차 금이나 백금은 초전도성을 나타내지 않는다.

또한 초전도상태는 흐르는 전류가 어떤 값보다 높을 때에는 유지되지 못하는데 온도가 낮을수록 그러한 전류의 값은 더 큰 값을 가진다.

이 턱값이상의 전류가 초전도체를 통과할 때 초기저항값으로 되돌아간다. 까메를링 온네스는 저항이 본래대로 되돌아가는것은 전류밀도가 커질 때 도선에서 생겨나는 열때문이라고 가정하였다.

그는 그 설명은 량자리론에 의거해야 한다는것을 잘 알았지만 자신이 그러한 설명을 내놓으려고 노력한것이 아니라 더욱더 실험적 연구에 힘을 넣었다.

저온물리학에서 온네스의 연구는 20세기에 있은 가장 중요한 발견들중의 하나인 초전도현상을 발견할수 있게 하였다.

그러나 1957년까지 이 현상의 원인을 해석하는 완성된 리론이 없었다.

그러한 리론은 다른 물리학자들인 죤 바딘, 레온 쿠퍼, 로버트 슈리퍼에 의하여 완성되였다.

# 류체정력학

고대그리스의 수학자, 발명가인 아르키메데스(B.C. 287－B.C. 212년)의 수학 및 류체정력학에서의 리론적 및 실천적발견들은 리론적연구에서와 공학적연구에서 혁신을 가져왔다.

멎어있는 류체의 성질을 연구하는 학문인 류체정력학은 아르키메데스로부터 시작되였다고 보고있다.

이와 관련하여 전해지는 전설에 의하면 헤론왕은 금으로 만든 왕관에 은이 섞여있는가를 아르키메데스에게 알아내라고 하였다. 왕관은 신성한 물건이였으므로 화학적으로 분석할수 없었다. 깊이 생각해보던 아르키메데스가 하루는 물이 가득찬 목욕통에 들어가면서 보니 물속에 깊이 들어갈수록 더 많은 물이 바깥으로 흘러나가는것이였다. 넘쳐난 물의 체적은 자기의 몸이 물속에 잠긴 체적과 같을것이라는 생각이 들었다.

이것은 그에게 문제를 풀수 있는 실머리를 주었다. 너무 기뻐서 목욕통에서 뛰여나온 그는 옷도 입지 않은채 《알았다!》고 웨치면서 집으로 달려갔다.

아르키메데스는 금관을 물속에 넣고 물이 올라간 높이를 보고 금관의 체적을 알아낸 다음 금관의 질량과 같은 금덩어리와 은덩어리를 물속에 넣어보았다. 금관은 금보다는 더 많은 물이 넘쳐나게 하며 은보다는 적게 넘쳐나게 한다는것을 알게 되였다. 이 실험으로 아르키메데스는 금관에 섞여있는 은의 량을 결정할수 있었다.

과학발전력사를 연구하는 사람들에게 보다 흥미있는것은 아르키메데스의 수학저작들이다.

그것은 세가지 부분으로 나누어볼수 있는데 어떤 곡선이나 곡면

을 경계로 가지는 도형의 연구, 정력학적 및 류체정력학적문제에 대한 연구와 산수와 관련된 연구이다.

지금 전해지는 저작들은 아르키메데스가 직접 쓴것이 아니라 여러번 수정되고 교정된것임에도 불구하고 문제설정의 복잡성과 그것을 능숙하게 설명하는 그의 사고방식을 느낄수 있게 한다.

B.C. 230년에 쓴 《떠있는 물체에 대하여》에서 아르키메데스는 랭철한 론리를 보여주고있다.

그는 액체보다 가벼운 물체를 액체속에 넣으면 그것은 액체속에 잠기는데 그것은 물체의 질량이 그것이 밀어낸 액체의 질량과 같은 깊이까지 잠긴다는것을 증명하였다. 액체보다 무거운 물체는 액체의 바닥에 가라앉는데 이때 넘쳐난 액체의 질량만큼 그 물체의 질량이 줄어든다.

아르키메데스는 류체정력학을 창시하였을뿐아니라 기하학, 정력학, 광학, 천문학과 공학에서도 큰 기여를 하였다.

그는 지레대의 원리를 기하학적으로 증명하였으며 그것을 리용하여 각이한 모양을 가지는 몇가지 얇은 물체의 중력중심을 구하였다.

그는 물체에 중력이 작용하여도 평형상태에 있게 되는 그러한 점을 중력중심이라고 하였다. 초기의 그리스수학자들은 지레대의 원리를 리용하여 지지점으로부터 먼곳에 적은 힘을 가하여도 지지점으로부터 가까운 곳에 있는 무거운 물체와 평형을 이룰수 있다는것을 보여주었다.

아르키메데스가 처음으로 이 원리를 수학적으로, 구체적으로 증명하였다. 그의 증명에서는 무게가 저울대에 수직으로 작용하는 기하학적량으로 취급되고있다. 이때 저울 그자체는 무게가 없는 기하학적선으로 본다.

이러한 방법으로 그는 정력학을 유클리드가 기하학에서 한것과 비교할수 있는 엄밀한 과학으로 만들었다.

아르키메데스가 생존해있을 때 그의 저작들은 알렉산드리아에로 넘어가서 연구보급되였다.

수학자들에 의하여 완성된 아르키메데스의 그리스어로 된 두개의

중요한 저작은 북유럽에서 라틴어로 번역되여 16세기이후에 널리 보급되였다.

그리스어로 된 저작들의 원본은 완전한것이 없었으므로 아랍어로 된것을 리용하여 아르키메데스가 쓴것으로 보이는것들을 요약하여 출판하였다.

그의 사상들은 문예부흥시기에 많이 축적되였으며 17세기에는 유럽의 과학자들에 의하여 거의 완전히 흡수되였다.

갈릴레이는 아르키메데스의 사상에서 많은것을 배워 그가 정력학에서 한것과 같은것을 동력학에서 하려고 하였다.

아르키메데스는 갈릴레이로부터 아인슈타인에 이르기까지의 현대과학자들과 같은 식으로 사고하였던것이다.

# 삼투현상

실험물리학과 전기의 본성에 대한 연구로 하여 알려진 카르도지오수도회 수도원장인 진－안토인 놀레트(1700－1770년)는 처음으로 용매가 세포막을 선택적으로 지나가는 현상을 보여주었다.

후날 프랑스 의사이며 자연과학자인 레네 헨리 듀트로체트(1776－1847년)는 이 과정을 삼투라고 하였다.

벤져민 프랭클린, 식물안에서 액체의 흐름을 설명한 도이췰란드식물학자인 윌헬름 쁘페퍼(1845－1920년), 확산과 삼투에 대한 문제를 수학적으로 취급한 네데를란드화학자인 야꼬뷔스 헨리퀴스 반뜨 호프(1852－1911년)가 이에 대한 연구로 이름을 남기였다.

1750년대에 놀레트는 생물계에 대한 실험을 하기 위하여 물리학 특히 전류에 대하여 연구하게 되였다.

그는 물흐름에 주는 전기의 영향을 관측한 도이췰란드인들의 실험에 대하여 알고있었다. 가느다란 관에서 물은 열려져있는 끝을 거쳐서 한방울씩 떨어져 내려온다. 그러나 만일 관에 전기마당을 작용시키면 물은 련속적으로 흘러내려온다.

놀레트는 식물이나 동물에서 물기가 날아나는 속도를 전기마당이 있을 때와 없을 때에 측정하였다.

이 과정에 그는 만일 전기마당이 가해지면 그 속도가 커진다는것을 발견하였다.

놀레트는 또한 지금 삼투원리로 불리우는것을 발견한 첫 실험을 진행하였다. 그는 알콜이 들어있는 용기를 준비하고 그 용기를 돼지의 방광쪼각안에 넣었다. 덮개를 덮은 용기를 물이 차있는 보다 큰 용기안에 넣어보고 물만이 방광벽을 지나간다는것을 발견하였다.

일부 실험에서는 방광벽이 불어나서 터지기까지 하였다.

그러나 알콜은 방광벽을 통과하지 못하는것이였다. 삼투현상을 보여준 이 첫 실험은 실험물리학에서 많이 직접적으로 응용되였다.

삼투현상과 함께 그는 방광벽이 《반투과성》 또는 《선택적투과성》을 가진다는것을 보여주었다.

그러나 《반투과성》이라는 술어는 그때로부터 150년이 지나서야 쓰이기 시작하였다.

놀레트의 발견이 곧 세포에 대한 리론에 적용된것은 아니였다.

19세기 첫 10년대에 듀트로체트는 놀레트의 연구결과에 대하여 알고 같은 원리를 세포막을 통과하는 액체의 흐름에 적용하려고 시도하였다.

현미경을 리용하여 식물과 동물의 세포를 연구하는 과정에 그는 용질인 물이 세포막을 통과하는것을 발견하고 이것을 삼투현상이라고 불렀다.

그는 용매의 흐름방향은 물속에 풀려있는 소금의 량과 같은 용질의 성질에만 관계되고 세포막자체의 성질에는 관계되지 않는다는것을 알게 되였다.

듀트로체트는 이 생각을 물이 인공적으로 만든 장벽을 지나가는것을 측정하는 기구인 삼투압계를 만들어서 검토하였다.

그는 물이 장벽을 지나가는것을 《내부침투》라고 하였으며 반대방향의 운동을 《외부침투》라고 하였다.

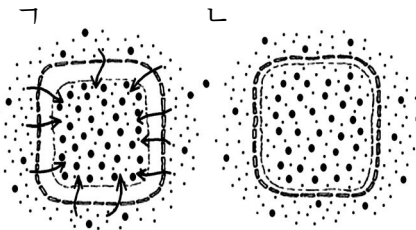



그림 18. 삼투과정

세포막이 삼투현상을 조절하는 장벽으로 된다는 생각은 세포리론에는 불리한것이였으므로 그것을 곧 적용할수 없었지만 그의 발견은 실험물리학분야를 개척하는데서 첫걸음으로 되였다.

나아가서 이와 류사한 현상

들이 생물세포와 관련하여 나타난다는것이 발견되여 몇가지 분야에서 곧 적용되기 시작하였다.

뻐페퍼는 식물도관안에서 류체의 작용에 주는 삼투압의 역할을 설명하였다. 삼투압 및 화학평형과 관련된 수학적문제들은 반뜨 호프에 의하여 해결되였다. 하여 그는 1901년에 첫 노벨화학상을 받았다.

그는 놀레트가 발견한 방광벽의 원리를 《반투과성》이라고 이름지었다. 이 술어는 세포막과 관련하여 이때 처음으로 쓰이였다.

그림 18은 다음과 같이 해설할수 있다.

ㄱ. 삼투과정에 식물세포밖의 물(작은 점)은 세포벽과 세포막을 지나 농도가 큰 바깥구역으로부터 세포안의 보다 많은 용질(큰 점들)이 차지한 초기의 농도가 보다 적은 구역으로 움직인다.

ㄴ. 세포의 물을 빨아올림은 세포질의 체적을 증가시키며 벽과 반대방향으로 세포막을 누른다.

# 현리론

우주현리론은 어떻게 별들과 은하계 및 은하단들이 형성되였는가 하는것을 잘 설명해주고있다.

영국물리학자인 톰 키블(1932－), 영국물리학자인 네일 투로크, 미국량자화학자인 안드레아스 알브레흐트(1927－), 미국물리학자인 에드워드 위튼(1951－)이 이에 대하여 연구하였다.

## 얼음속의 틈과 같이

대폭발리론에 의하면 우주는 150억～200억년전에 일어난 굉장한 폭발로부터 생겨났다. 소립자물리학과 그리고 다른 물리학분야들에서 이룩된 성과들은 과학자들로 하여금 대폭발이 일어난 직후에 있은 사건들에 대한 리론을 세울수 있게 하였다. 그러한 한가지 리론에 의하면 우주가 생겨난 순간으로부터 약 $10^{-43}$초 지날 때까지는 자연의 네가지 호상작용이 하나의 《초힘》으로 이루어져있었다. 우주에는 에네르기만 있었으며 그 어떤 소립자도 없었다. 물리학자들은 이 상태를 대칭인 상태라고 부른다. 이것은 그 순간에는 우주의 성질이 모든 방향에서 같았다는것을 의미한다. 한순간이 지나서 대칭성이 파괴되고 개별적인 힘들이 나타나기 시작하였다. 맨 처음에 나타난것은 중력이고 그다음은 강한 핵력이 나타났다. 약 $10^{-12}$초 지나서 약한호상작용과 전자기호상작용이 독립적으로 존재하기 시작하였다. 이러한 힘들이 나타남으로써 소립자들이 처음으로 형성되기 시작하였으며 그다음 몇분사이에 첫 원자핵들이 생겨났다. 물리학자

들은 이러한 사건들이 일어난것은 우주가 대폭발에 의하여 생겨난 때로부터 70만년정도의 시간사이에 있었다고 보고있다.

첫 원자들이 생겨나기 전에 우주에 있던 수많은 자유전자들이 대폭발순간에 생겨난 빛과 호상작용하였다. 대부분의 전자들이 새로 생겨난 원자들에 흡수된 다음 물질과 빛은 서로 갈라졌으며 우주는 빛에 대하여 투명한것으로 되였다. 이러한 정황에서 빛의 압력이 낮아져서 많은 물질이 큰 덩어리로 뭉치게 되였다.

은하형성에 대한 초기리론들에 의하면 초기우주에서 작용하던 중력은 물질들이 덩어리로 뭉치도록 하였다. 이러한 덩어리들은 굉장한 먼지구름들을 끌어당겼고 회전하는 이 거대한 물질로부터 개별적인 별들이 생겨났다. 서로 가까이에 있던 별들은 중력에 의하여 서로 속박되여있었으며 수십억개의 별들로 이루어진 은하들을 이루었다. 개별적인 은하들은 중력에 의하여 끌어당겨져 은하단들과 초은하단들을 이루었다.

이 리론에서 설명하지 못하고있는 문제는 맨 처음에 물질이 왜 그리고 어떻게 덩어리로 뭉치였는가 하는것이다. 관측되는 우주의 물질분포가 고르롭지 못한것을 설명하자면 폭발에서 불규칙적인것이 있어야 하는데 우주대폭발의 잔여물인 우주복사의 세기는 하늘의 모든 방향으로부터 같기때문에 폭발에서 불규칙적인것이 있었다는것을 접수하기 어렵다.

1976년에 런던의 한 대학에서 일하고있던 물리학자 톰 키블은 통일마당에 대한 현재의 리론으로부터 우주에 대하여 어떤 결론이 나오는가 하는것을 연구하였다. 그는 특히 대폭발이 있은 다음의 1초도 못되는 사이에 벌어진 일들에 관심을 가지였다. 그 순간에 힘(마당)들은 본질에 있어서 같았다. 그의 수학적모형은 대폭발이 있은 직후에 급속히 식는 우주에서 실과 비슷한 모양을 가지는 현과 같은것이 생겨난다는것을 보여주었다. 우주가 이와 같이 급속히 식으면 《상변환》이 일어난다. 이것은 물이 얼음으로 얼 때 생겨나는 갈라진 틈과 비슷하다. 키블의 현은 질량과 에네르기가 극히 많이 집중된 가느다란 현과 같이 볼수 있다. 리론에 의하면 초기우주대폭발의 이 잔여물은 두께가 양성자보다 작고 길이는 지금 알려져있는 우주

의 길이보다 더 길다. 길이가 1.6㎞인 우주현의 질량은 전체 지구의 질량보다 더 많다. 이와 같은 거대한 질량은 현이 우주에서 에네르기가 넘쳐나던 초시기에 형성되였다는것을 보여준다.

네일 투로크와 안드레아스 알브레흐트가 진행한 콤퓨터모의결과는 우주대폭발이 있은 직후에 우주가 확장되면서 식는 과정에 시공간에서의 결함은 길고 련속적인 사슬을 이룬다는것을 보여주었다. 이러한 사슬 또는 현안에서는 아직 대칭성이 존재한다. 자연의 힘들은 하나로 존재하며 따라서 어떤 원자도 존재하지 않는다. 우주가 팽창하는데 따라 현은 변한다. 어느 한개 현에서 일어나는 빠른 진동은 그 현의 일부가 다른것과 겹치게 할수 있다. 이런 일이 있으면 생겨난 고리는 현으로부터 달아난다. 이러한 고리는 그 크기가 아주 각이한데 미시적인 값으로부터 몇l.y.까지 될수 있다.

우주현리론에 의하면 고리들은 빠른 진동을 한다. 그 속도는 빛의 속도에까지 이를수 있는데 그 과정에 중력파가 나온다. 중력파가 있다는것은 아인슈타인의 일반상대성리론에서 예언되였는데 그것은 시공간구조에서 일어나는 잔물결이라고 볼수 있다. 현은 이러한 에네르기를 내보내기때문에 그것은 점차적으로 줄어들며 나중에는 없어진다. 둘레의 길이가 1 000l.y.인 우주현은 1천만년 또는 1억년동안 복사한다는 결과가 있다.

학자들은 우주에 그 어떤 현이라도 남아있겠는가 하는것을 의심하고있다. 현리론분야에서 연구하는 학자들은 초기우주에서 생겨나서 지금까지 남아있는 가장 작은 고리는 적어도 그 직경이 100만l.y.이상이라야 한다는 결론을 얻었다. 그리고 또한 리론적타산에 의하면 현재까지 남아있는 현은 널리 퍼져서 아마도 지구로부터 10억l.y.이상의 거리에 있어야 할것이다. 에드워드 위튼에 의하여 이루어진 현리론의 개정된 방안에 의하면 현은 초전도체로 된다. 계산결과에 의하면 거기서 암페아의 전류가 생겨날수 있다. 이러한 전류가 흐르면 강한 자기마당이 형성되는데 따라서 현의 주위에는 센 자기마당이 있을것이다. 이러한 마당에 붙잡혀서 가속된 립자들은 빛을 내보낸다. 이러한 립자들로부터 오는 복사를 관측함으로써 언제인가는 우주현이 존재한다는것을 증명할수 있을것이다.

# 대기순환

영국의 죠지 하들리(1685−1768년)는 지구의 대기순환은 태양열과 지구의 회전에 의해 일어난다는것을 관찰하였다.

그는 열대지역과 아열대지역에서 나타나는 대기순환의 양식을 설명한 첫 사람이였다.

노르웨이기상학자이며 베르겐지구물리학연구소의 창립자인 윌헬름 비어크니스(1862−1951년), 프랑스의 물리학자인 가스빠르 구스따브 드 꼬리올리(1792−1843년), 첫 기상지도를 출판한 제2의 영국왕실천문학자인 에드몬드 핼리(1656−1742년), 스웨리예기상학자이며 비어크니스의 제자인 칼−구스타브 아비드 로스비(1898−1957년)가 이에 대하여 연구하였다.

# 대칭순환

15세기 유럽의 많은 항해가들은 중위도의 서풍보다는 저위도의 동풍 그리고 적도지역의 무풍지대와 함께 그 이름이 잘 알려져있다.

크리스토프루스 콜룸부스는 대양려행에서 이 지역별로 나누어진 바람의 중요성을 처음으로 보여주었다.

1492년에 이베리아반도로부터 서쪽으로 항해할 대신 그는 대서양을 건느기 전에 까나리아섬을 향해 남쪽으로 3척의 에스빠냐배들로 항해하였다.

다음에 그는 상쾌한 순풍을 리용하여 까나리아섬으로부터 36일동안에 바하마군도까지 항해하였다.

이 남쪽으로의 항로를 취한 덕분에 콜룸부스는 저위도의 동풍안에서 대서양을 건늘수 있었으며 무역풍을 발견한 사람으로 인정되였다.

콜룸부스는 유리한 서풍에서 항행하여 아도레스군도에서 멈추면서 보다 높은 위도에서 유럽으로 돌아왔다.

16세기에 보다 낮은 위도들인 적도의 북쪽과 남쪽에서 동쪽으로 부는 무역풍이 유럽과 서반구를 이어주는 역할을 하였다.

이러한 바람은 지구가 서쪽에서 동쪽으로 회전함으로써 일어난다는것이 일치한 의견이였으나 많은 수학자들과 천문학자들은 지구의 회전은 무역풍을 일으키기에는 불충분하다고 생각하였다.

영국의 천문학자들은 이러한 무역풍에 확고한 과학적설명을 주는데 흥미를 가지게 되였는데 1686년에 에드먼드 핼리는 왕립협회의 잡지에 무역풍에 대한 연구결과를 발표하였다.

그는 태양열이 대기순환을 일으킨다는것을 설명하였으며 처음으로 출판된 기상지도에서 대양에서의 평균바람을 보여주었다.

변호사이며 천문학자인 죤 하들리의 형인 죠지 하들리는 기상현상들과 서풍과 보다 낮은 위도의 동풍을 과학적으로 해명하는데 흥미를 가지였다.

죠지 하들리는 무역풍은 태양열의 영향아래서 회전자리표계를 리용해야만 설명될수 있다는것을 알고있었다.

그는 무역풍에 대한 핼리의 연구를 출발점으로 삼았으며 태양에 의한 대기의 가열이 적도에서 최대로 되고 적도의 따뜻한 공기가 낮은 위도에서 우로 솟아오르도록 하며 극꼭대기에로 움직인다는 결론을 내렸다.

웃방향으로의 공기의 운동은 무풍지대에서 일어나며 보다 찬 걸면의 공기는 늘 동쪽으로 향하여 움직이므로 적도가 따뜻해진다. 이러한 해석에서는 각운동량의 보존이 거칠게만 만족된다.

하들리는 이러한 대기순환이 지역적으로 대칭이라고 생각하였다.

즉 그는 북반구와 남반구에서 위도바람이 거울영상관계에 있다고 생각하였다.

무역풍에 대한 죠지 하들리의 해석을 1735년에 런던왕립협회에 보고하였을 때 많은 사람들이 접수하였다.

약 50년후에 하들리의 해석을 사람들이 잊어먹고있었는데 죤 돌턴과 임마누엘 칸트가 독립적으로 하들리의 해석과 류사한 해석을 제의하였다.

결국 기상학자들은 각운동량보존대신에 속도가 보존된다고 본 하들리의 가정이 맞지 않는다는 결론에 이르렀다.

# 꼬리올리효과

하들리가 무역풍에 대한 자기의 해석을 제출한 때로부터 100년이 지나서 꼬리올리는 북반구에서는 명백히 바람이 오른쪽으로 기울어지고 남반구에서는 왼쪽으로 기울어진다는것을 수학적으로 설명하였다. 이것을 꼬리올리효과라고 부른다.

편차의 값은 바람의 속도와 위도에 관계된다. 꼬리올리효과는 적도에서는 령이다.

항해하는 배들은 증기기관을 가진 돛배들을 리용하게 됨으로써 무역풍의 영향을 극복할수 있게 되였다.

1850년대 중엽에 미국의 기상학자들인 윌리암 페렐과 마쓔 마우리, 영국의 수학자 제임즈 톰슨은 모두 서로 독립적으로 북반구와 남반구에서의 3세포자오선순환구조를 제기하였다.

이 개념은 페렐세포라고 불리우는 중위도세포와 함께 저위도 하들리세포를 유지할수 있게 하였다.

페렐세포는 약 60°의 위도에서 오름운동을 가진다고 생각하고있었다. 하들리세포는 중간위도에서 서쪽으로의 운동을 설명하는 우월성때문에 아직도 가치가 있는것으로 인정되고있다.

이러한 구조는 심지어 그것이 과학적으로 부정확하다는것이 알

려졌을 때에조차 20세기의 거의 전기간에 지구의 대기순환의 가장 간단한 설명으로 리용되였다.

하들리의 연구가 있은 때로부터 몇세기동안 기상학적관측이 많이 진행되는 과정에 대기의 순환은 지역적으로 대칭이 아니라는 결론을 얻게 되였다.

무역풍이 지역적인 평균으로 충분히 묘사된다는것이 명백해졌지만 관찰결과는 일반적으로 지역적인 평균으로부터 큰 편차가 있다는것을 보여주었다. 과학자들은 이러한 편차를 《소용돌이》라고 불렀다.

1937년에 노르웨이기상학자인 윌헬름 비어크니스는 페렐—톰슨 3세포순환이 대기가 소용돌이하지 않을 때에만 가능하다는것을 제기하였다.

대기순환에 대한 그후의 연구는 일반적으로 소용돌이가 어떻게 일어나며 퍼져나가는가 하는데 집중되였다.

19세기 후반기에 관찰에 기초한 기상학이 발전하고 20세기에 위성기상학이 발전하게 되면서 대기순환방식에 대한 과학적리해가 깊어졌다.

기상기구의 하나인 소형송신기를 기구에 달고 높은 층의 기상요소를 지상에 전송하는 장치인 라지오존데와 비행기구들을 리용하여 진행된 보다 높은 곳의 공기의 관찰로부터 얻은 자료들로부터 대기의 불안정성에 대한 연구에서는 많은 성과가 이룩되였다.

그것은 열현상과 중력을 비롯한 여러가지 원인에 의하여 대기에서는 큰 파동들이 존재한다는것이 밝혀졌던것이다.

위성으로부터 보내오는 영상은 무역풍이 한곳으로 집중되는 령역을 명백히 보여준다.

대양우의 공간으로부터 보면 이런 수렴현상은 우뢰비의 활동에 의하여 일어난 구름띠들처럼 보인다. 구름이 낀 이러한 구역은 하들리가 따뜻하고 습기가 있는 공기가 올라간다고 본것인데 지금은 그것을 열대수렴지대라고 부른다.

공기가 우로부터 내려오는 무역풍의 북쪽과 남쪽의 경계는 적도

로부터 대략 30° 북쪽과 30° 남쪽에서 발견되였으며 위성의 영상에서 보면 구름이 없는 지역으로 보인다.

20세기 후반기에 이르러 지역적으로 평균화된 대기의 순환은 전체 대기순환의 편리한 부분모임으로 받아들였다.

하들리세포라는 말은 일반적으로 지역적으로 평균화된 저위도바람을 의미하는 말로 남아있게 되였다.

20세기 후반기에 수학적지식이 깊어지고 고속콤퓨터가 개발된 결과에 대기에서 일어나는 동적과정을 수학적으로 모형화할수 있게 되였다.

비어크니스의 제자인 칼-구스타브 로스비는 콤퓨터가 발명된 다음 곧 일반적인 순환의 수학적모형을 연구한 첫 사람의 하나이다.

# 대통일리론

미국물리학자들인 호워드 죠지(1947－)와 쉘돈 글레쇼우는 비록 가설이지만 궁극적으로는 자연의 모든 힘들을 하나로 통합하는 단일한 리론으로 이끌어갈수 있는 소립자물리학에서의 통일마당리론을 처음으로 제기하였다.

스티븐 와인버그와 파키스탄물리학자인 아브두스 쌀람, 인디아물리학자인 죠에쉬 파티(1937－)가 이에 대하여 연구하였다.

## 아인슈타인이 실패한 그 문제에서

잘 알려져있는 자연의 4가지 힘들은 행성들과 별들의 운동으로부터 시작하여 물체들사이의 호상작용과 물질자체의 형성에 이르기까지 우주에서의 모든 물체들의 거동을 결정한다.

그러한 힘들은 중력, 전자기힘, 약한힘과 강한힘이다.

중력은 정지질량에 의하여 생겨난다. 그것은 행성들이 자기 자리길에서 유지되게 하며 행성겉면에 물체들을 유지하게 한다. 그것은 거대한 거리에서 뚜렷하게 나타나지만 4가지 힘가운데서 가장 약하다.

전자기힘은 원자와 분자들사이에 존재한다. 이 힘은 기계장치나 전자장치들을 움직이는 힘이다.

약한힘은 원자준위에서 존재하며 방사성동위원소의 붕괴 즉 방사성붕괴를 일으킨다.

강한힘은 원자핵안에서 작용하며 양성자와 중성자들을 이루고있

는 소립자들을 유지한다.

현대물리학의 목표는 이 모든 힘들을 하나의 힘으로 통일시키는데 있는데 그것은 대통일리론으로 알려져있다.

상대성리론을 정식화한것으로 하여 유명해진 아인슈타인은 중력과 전자기힘들을 단일한 리론으로 통합하려고 시도하였다.

그는 이 목표를 실현하기 위하여 많은 노력을 기울였지만 완전히 실패하고말았다. 그가 실패한 원인의 하나는 그가 량자물리학을 부인한 결과였을수도 있다.

오직 량자물리학만이 소립자들사이에 작용하는 힘들을 깊이 연구할수 있는 도구이다.

아인슈타인이후에 이러한 강력한 도구를 리용한 물리학자들은 마당을 통일시키는 목표에 가까이 다가가기 시작하였다.

1961년과 1968년사이에 미국의 물리학자들인 글레쇼우와 와인버그 그리고 파키스탄물리학자인 쌀람에 의하여 일련의 론문들이 발표되였다.

1971년에 물리학자 훼라드 드 호프트는 그들이 전자기힘과 약한 힘들에 대한 량자리론을 통합하는 모든 요소들을 예언했다는것을 보여준 론문에서 이러한 사상들을 통합하였다. 그것은 《전기약한호상작용리론》이라고 불리우는 첫 량자통일리론으로 되였다.

글레쇼우, 와인버그 그리고 쌀람은 자기들의 연구공로로 1979년에 노벨물리학상을 수여받았다.

대통일리론은 1973년에 세가지 요소적힘들을 통합하는 잠정적인 가설로서 제기되였다.

글레쇼우는 하바드종합대학의 동료이며 물리학자인 호워드 죠지와 함께 새로 태여나는 학문인 량자색력학리론에 새롭게 달라붙었는데 그것은 원자립자에 대한 리론 특히 전자의 경우에 전기와 복사사이의 관계에 대한 리론에서 일종의 질서를 제공해준다. 그들은 힘들의 세기에서 차이가 아주 크지만 량자색력학리론은 이 여러가지 호상작용들이 하나의 결합상수에 의하여 결정될수 있다는 충분한 리론적근거를 주었다.

1973년에 쌀람은 물리학자 죠게쉬 파티와 함께 집필한 론문을 발표하였다. 그 론문에서는 전혀 예상하지 못했던 새로운 사상이 처음으로 나타났다. 그것은 우주에서 알려져있는 가장 안정한 소립자인 양성자도 궁극적으로는 붕괴될수 있다는 가능성이 제기되였던것이다.

글레쇼우와 죠지의 리론인 SU(5)리론은 이러한 개념에 기초하여 《건설》되였다. 그들은 양성자의 붕괴과정에 양성자의 구성요소인 쿼크가 붕괴할 때 대단히 무거운 립자들을 내보내며 양성자는 렙톤들로 넘어가며 궁극적으로는 전자와 양전자들로 전환된다는것을 SU(5)리론을 통하여 리론적으로 설명하였다. 그것들이 만나서 포톤으로 넘어가면 원자(물질)는 영원히 사라져버린다.

아인슈타인은 대통일리론을 세우기 위한 수십년의 시도에서 실패하였다.

1974년에 《물리개관》에 실린 글레쇼우와 죠지의 론문은 그 이전의 반세기동안의 물리학의 연구성과를 통합하였다.

한편 아인슈타인은 상대성리론을 세우는데 단 두주일을 소비하였으며 거기서 나오는 공식들을 아주 간결하게 정식화하여 내놓았다.

다른 한편 아인슈타인은 이미 자기 이전 세기의 물리학자들이 내놓은 기초를 종합하였다. 그러므로 량자력학의 사상을 이미 아주 잘 알고있던 글레쇼우와 죠지는 대통일리론을 세우기 위한 수수께끼를 푸는데 필요한  많은 내용들이 이미 량자색력학의 사상에 포함되여있다는것을 인식하고있었다.

글레쇼우—죠지리론은 아주 매혹적이지만 그것은 여전히 가설로만 남아있다. 자연의 전자기힘, 강한힘, 약한힘들과 함께 중력을 고려한 궁극적인 대통일리론이 《건설》되면 리론물리의 주되는 과제는 완성될것이다.

그리고 이러한 물리적인 대통일리론들을 시험하고 증명할것을 요구하는 힘들은 너무 큰것이여서 그것이 실험적인 증거로 안받침되겠는지는 알수 없다. 실험적인 확증이 없으면 리론물리학자들의 세계는 실험물리와 분리되게 된다.

원자의 내부를 연구하는 학문으로서의 량자력학은 원자들을 충돌시켜 쪼개는 립자가속장치들에 의존하게 된다.

물리학자들은 사진건판들우에서의 흔적으로써 원자의 쪼각들의 영상들을 수집하여 그것들을 조사한다.

그들이 원자의 내부를 보다 깊이 연구할수록 더욱더 높은 에네르기가 요구된다.

물리학자들이 원자를 분할하여 전기약한호상작용리론의 내용들을 확증하려면 하나의 큰 도시를 달리는데 필요할만큼 능력이 큰 립자가속장치를 리용해야 한다.

글레쇼우—죠지의 리론을 확증하기 위하여서는 현존하는 가속장치보다 수천만배나 더 유력한 립자가속기가 건설되여야 한다는것이 계산에 의하여 밝혀졌다.

지금까지 알려진 모든 과학리론에 의하면 이러한 목적으로 건설되여야 할 가속장치는 10l. y. 의 길이를 가져야 한다.

그리하여 글레쇼우—죠지리론은 개념적으로는 잘 안받침되는것처럼 보이지만 결코 실험적으로는 증명할수 없을것이다.

결국 이 리론은 앞으로도 영원히 가설로만 남아있을것이다.

# 탄도학

16세기에 나온 운동하는 물체에 관한 리론으로부터 후에 탄도학이라고 불리우게 된 과학분야에 대한 연구가 태여나게 되였다. 이딸리아수학자인 니꼴로 폰따나 타르타글리아(1500－1557년)는 당시까지 교회의 지지를 받는 학교들과 대학들에서 배워주고있던 아리스토텔레스의 사고방식과 달리 관찰에 기초한 리론을 세웠는데 이것은 16세기의 물리학으로부터 경험과 실험에 기초하고있는 근대적인 물리학으로의 한걸음이였다.

이딸리아수학자, 자연철학자인 게롤라모 까르다노(1501－1576년), 이딸리아수학자, 물리학자인 죠반니 바띠스따 베네데티(1530－1590년)가 탄도학에 대하여 연구하였다.

# 발사체의 운동

고대그리스에서 진행된 물리적세계에 관한 연구로부터 태여난 운동에 관한 아리스토텔레스의 견해와 그밖의 다른 과학적견해들은 중세기까지 널리 침투하고있었다. 운동에 관한 새로운 리론을 세우려는 시도들은 물리세계에 대한 관찰이나 묘사보다도 아리스토텔레스의 리론에 대한 해석의 형태를 띠고있었다. 이러한 묘사에서 리용된 수학지식은 유클리드가 《기하학원본》에서 내놓은것에 머무르고있었다. 그후 16세기 중엽에 이딸리아에서 진행된 연구는 물리세계에서의 운동을 묘사하는데 쓰는 수학적모형들의 기초를 다시 평가하게 하였다.

아리스토텔레스는 물리학과 관련된 문제를 몇권의 저서에서 취

급하였다. 사실상 그것은 수학이나 과학이라기보다 철학이라고 부를수 있는 립장에서 쓴것들이였다. 즉 구체적인 사실적내용이 거의 없는것이였다. 당시 많은 그의 동시대인들은 도대체 운동이라는것이 있을수 있다는 사실자체를 부인하고있었다.

그런 조건에서 아리스토텔레스는 어떻게 운동이나 변화가 일어날수 있는가 하는것을 리해하는데 주되는 관심을 돌리고있었다. 이와 반대로 그리스수학자 아르키메데스는 일정한 물리적과정으로부터 출발하였으며 그것을 당시에 알려져있던 수학적언어 특히 유클리드의 기하학의 언어로 해석하려고 시도하였다.

운동에 대한 연구에서의 이러한 두가지 견해는 중세기까지 함께 존재하여왔다. 그러나 아리스토텔레스의 견해는 교회의 지지를 보다 더 받았으며 교회에 의하여 신성한것으로 선포되였다. 서유럽의 대학들에서 운동에 관한 문제를 연구하던 사람들은 아리스토텔레스의 교리를 따르겠다는것을 공약하지 않으면 안되였다.

타르타글리아는 정규교육을 받을만한 재산이 없는 가정에서 태여나 주로 자습으로 과학을 배웠다. 그는 아르키메데스의 저작들을 연구할수 있었으며 아리스토텔레스의 견해를 따르지 않았다.

력학에 대한 타르타글리아의 립장은 한편으로는 전통적인 견해에 대한 그의 독자성과 관련되여있었고 다른 편으로는 과학자들의 관심사로 되고있던 문제들에 대한 높아가는 요구를 해결하려는 시도였다. 타르타글리아는 1537년에 라틴어로 쓴 《새로운 과학》이라는 책을 출판하였는데 이 책에서 당시의 가장 중요한 실천적문제의 하나인 운동상태에 있는 발사체의 거동에 대한 문제를 취급하였다. 그후 그것은 탄도학이라고 불리우게 되였다. 이 문제는 포위공격무기, 대포, 총의 동작을 리해하는데서 관건적문제였다.

포사격과 관련된 문제는 실천적으로 중요하였기때문에 이전에도 많이 론의되고있었지만 대부분은 과학적면모를 갖추지 못하고있었다. 타르타글리아는 수학적방법을 포사격문제를 푸는데 적용하지 못할 아무런 근거도 없다고 생각하였다.

가장 중요한것은 발사체를 던지는 각도와 그것이 지나가는 경로의 호상관계에 대한 문제였다. 이것은 도시를 공격하는것을 막

기 위하여 절실히 해결을 기다리는 문제였으며 수학적언어로 묘사해야 할 문제였다. 운동에 관한 아리스토텔레스의 리론에서는 기본곡선으로서 직선과 원이 있을뿐이였다. 그러므로 던진 물체의 운동은 이 두가지 곡선들의 조합에 의하여 묘사할수 있으리라고 생각하고있었다.

력학에 관한 아리스토텔레스의 리론은 그리스천문학자 프톨레마이오스에 의하여 행성운동체계로 발전하였고 1543년에 와서야 비로소 뽈스까천문학자 꼬뻬르니끄에 의하여 발전한 새로운 체계로 바뀌였다. 그러나 던진 물체의 운동에 관한 아리스토텔레스의 리론은 타르타글리아에 의하여 바뀌여졌다. 그는 직선과 원이 운동을 취급하는데서 가장 좋은것이 아니라는것을 처음으로 인식하였던것이다.

던진 물체의 경로에 대한 타르타글리아의 수학적취급은 경험적관찰결과로부터 출발하고있다. 그는 던진 물체가 처음에 직선에 따라 운동하기 시작하였다고 하여도 그것은 곡선을 따라 운동하며 그후에도 역시 곡선을 따라 날아간다는것을 관찰하였던것이다. 그 곡선은 분명히 활등이 아니였다.

이로부터 타르타글리아는 어떤 각도로 던져야 가장 멀리까지 갈수 있는가 하는것을 해명하여야 하였다.

수학적계산에서는 오유가 있었지만 그가 얻은 결과는 45°의 각으로 던져야 한다는 정확한것이였다. 타르타글리아는 왜 직선으로부터 리탈되는가 하는것을 설명하는 리론적모형은 제기하지 못하였지만 그가 문제를 경험에 기초하여 푼것은 실천적문제에 수학을 적용할수 있게 하였다.

밀라노에서 수학교수로 일하던 게롤라모 까르다노는 타르타글리아의 경쟁자였다. 운동에 관한 까르다노의 견해는 타르타글리아의 견해와 비슷하였다. 그러나 타르타글리아와 달리 까르다노는 이딸리아종합대학출신이였으며 자기의 견해를 아리스토텔레스의 견해와 크게 차이나게 표현하지 않았다. 까르다노는 만일 크기가 서로 다른 두 구를 동시에 떨어뜨리면 그것들은 같은 시간동안에 땅에 떨어진다고 주장하였다. 이것은 운동에 대한 아리스토텔레스

의 견해와 명백히 다른것이였다. 그러나 이 리론에 대한 그의 수학적론거는 납득하기 어려운것이였으므로 타르타글리아는 까르다노가 자기의 리론을 훔친데 대하여 격분하여 까르다노의 성격과 수학적권위에 대하여 공격하였다. 그러나 력사는 까르다노의 업적을 인정하였으며 그를 탄도학의 창시자로 공인하였다.

북부이딸리아학파들가운데서 탄도학의 창시에 기여한 세번째 사람은 죠반니 바띠스따 베네데티였다. 그는 타르타글리아의 제자였다고 한다. 그는 타르타글리아와 마찬가지로 대학교육을 받지 못하였으나 1553년에 력학에 관한 저서를 발표하여 《같은 시간동안에 떨어지는 법칙》을 주장하였다.

이러한 사상은 까르다노가 내놓은 일이 있었지만 까르다노는 베네데티보다 그것을 명백하지 못하고 효과적이 못되게 정식화하였다. 이 법칙은 물체가 떨어지는데 걸리는 시간은 물체가 지나간 수직거리에만 관계되고 다른 방향에서 지나간 거리에는 관계되지 않는다는것을 주장하고있다. 베네데티는 이것을 어떤 귀족에게 바치는 편지의 형식으로 발표하였는데 그렇게 해야 아리스토텔레스의 교리와 어긋나는 주장을 교회와의 마찰을 피하면서 무난히 제기할수 있었기때문이였다. 그럼에도 불구하고 까르다노는 종교재판에 걸려 일정한 시간동안 갇혀있었다.

타르타글리아의 리론이 까르다노와 베네데티를 비롯한 다른 사람들에게 영향을 준것은 지난 시기의 전통적인 수학적사고방식에서 벗어나기 시작하였다는것을 의미한다.

타르타글리아는 유클리드의 저작을 알고있었지만 자기의 관측결과를 유클리드가 내놓은 기하학의 틀에 맞추는것보다 발사체의 운동을 예언하는것을 더 중시하였다. 특히 운동을 묘사하기 위해서는 직선과 원만 가지고서는 안된다는것을 인식하게 된것은 수학적모형화에서 아리스토텔레스의 정성적취급의 범위를 벗어날수 있게 하였다.

타르타글리아의 리론은 그이후의 세대들에게 영향을 주었다. 갈릴레이는 많은 측면에서 타르타글리아, 까르다노, 베네데티가 거칠게 묘사한 사상들을 세계에 대한 완성된 체계로 만들려고 시

도하였다.

니꼴로 타르타글리아는 탄도학의 기초를 닦아놓았을뿐아니라 3차방정식의 풀이를 구하는데서도 크게 성공한 뛰여난 수학자였다.

물론 타르타글리아는 이 문제를 연구한 첫 사람은 아니였다. 고대수학자들은 세제곱뿌리를 구하려고 시도하였다. 그리스학자들은 이 문제를 유클리드의 기하학적방법으로 풀수 없겠는가 하는것을 연구하였다.

중세기의 이슬람교학자들은 대수방정식을 연구하는데서 삼각이 일련의 새로운 계산방법을 준다는것을 알고있었다. 이슬람교학자들의 연구결과가 어느 정도로 유럽에 영향을 주었는가 하는것은 명백하지 않다.

수학자 스찌피온 델 페로는 2차마디가 없는 3차방정식의 풀이를 구하는 방법을 찾아내였다. 그는 그것을 자기의 제자 안토니오 피오레에게 배워주었다. 안토니오 피오레는 타르타글리아를 수학경기에 초청하였다. 타르타글리아는 델 페로보다 한걸음 더 앞서 나가서 2차마디가 있는 경우까지도 풀수 있었다. 결국 타르타글리아는 경기에서 이겼으며 당대의 가장 뛰여난 수학자로 인정받게 되였다.

타르타글리아는 자기 방법의 세부적인 내용이 많은 사람들에게 알려지는것을 원하지 않았다. 그러나 그는 수학자 게롤라모 까르다노에게 비밀을 지키겠다는 약속을 받고 그것을 알려주었다. 그후 까르다노는 4차방정식을 푸는 방법을 찾아냈다고 주장하여 더는 타르타글리아와 한 약속을 지키지 않아도 된다고 생각하게 되였다.

까르다노가 타르타글리아에게 자기의 명예를 걸고 그의 방법을 공개하지 않겠다고 약속하고도 그것을 공개하게 되자 까르다노와 타르타글리아사이에는 격렬한 론쟁이 벌어졌다.

이것은 문예부흥기에 이딸리아에서 지식에 대한 문제가 얼마나 중요하였는가를 보여주는 실례이다. 그는 자신이 3차방정식의 풀이를 구하는데서 얻은 성과를 얼마 보여주지 못하고 죽었다.

# 자성

영국의 의사이며 물리학자인 윌리암 길버트(1544－1603년)는 1600년에 《자기학》이라는 큰 책을 발표하였다.

영국과학에서 처음으로 되는 큰 저작인 이 책에서 그는 자성체와 전기적인력에 대한 연구결과를 서술하였다.

이것은 전기와 자기에 대한 연구의 시초를 열어놓았으며 과학에서 실험적방법의 실례를 보여주었다.

에드워드 라이트(1558－1615년), 영국철학자인 프란시스 베콘(1561－1626년)이 이에 대하여 연구하였다.

# 궁전의사가 물리학연구를

1558년에 케임브리지종합대학에 입학하여 의학과 수학교육을 받은 길버트는 박사학위를 수여받아 런던에서 가장 뛰여난 의사로 되였다.

비록 의학적연구와 약제조사업을 하였지만 그의 가장 중요한 기여는 약 20년동안 진행한 자기와 전기에 대한 연구였다.

초기에 그는 화학을 연구하였다. 그 과정에 그는 높은 정확성에 습관되였는데 이것은 그후에 자성에 대한 연구에 큰 도움을 주었다. 그는 일생동안 결혼하지 않고 집을 실험실로 리용하였다.

영국과학에서 처음으로 되는 매우 중요한 책은 1600년에 나온 길버트의 《자성, 자성체 및 거대한 지구자석에 대한 새로운 자연철학》이였다.

이것은 보통 《자기학》이라는 제목으로 알려져있다. 이 저작은

문예부흥기에 자연을 있는 그대로 연구하던 립장으로부터 과학이 실험에 의거하는 실험과학으로 넘어갔다는것을 보여주었다.

그것은 1269년에 페터 펠리구리누스가 쓴 자성에 대한 책이 나온후에 가장 권위있게 쓴 저작이였다.

길버트는 관찰과 실험이 중요하다는것을 강조하고있다. 이 책에는 약 50가지의 실험이 서술되여있다. 아마도 이것은 그가 항해가들 및 지도작성자들과 협동연구를 하는 과정에 얻은것들일것이다. 여기서 특히 케임브리지의 수학자이며 영국의 가장 뛰여난 지도작성자이고 콤파스의 전문가인 에드워드 라이트와의 공동연구가 중요한 자리를 차지하였다.

라이트는 실천적경험을 제공해주었을뿐아니라 책의 머리글과 자기적편기에 관한 내용을 담고있는 4번째 책의 제12장을 썼고 5번째 책에도 기여하였다.

라이트는 자기적복각과 그것과 위도와의 관계를 론의하고 복각을 측정하기 위한 기구를 만들었다.

이 책은 총 6권으로 되여있다. 제1권에서는 자성에 대한 연구의 력사를 취급하고있는데 여기서 길버트는 천연자석과 그것의 성질에 대한 신화를 반박하고있다. 특징적인것은 길버트가 순수한 원소에 관한 아리스토텔레스의 개념 특히 흙이 순수한 원소라는 개념을 부인하고있다는것이다.

그는 지구가 거대한 천연자석이라는 자기의 원리를 론증하였다. 그는 이러한 견해가 지구자석을 설명한다는것을 론거로 들고있다. 여기서 그는 콤파스가 별들과 행성들이 돌아가고있는 천구의 극들에 끌리우고있다고 보던 당시의 견해를 반박하였다.

그는 천연자석의 거동을 보여주는 실험들을 묘사하였으며 자기의 실험들과 발견들을 특별히 강조하여 서술하였다. 나머지 5개 책에서 길버트는 5가지 자기적운동을 묘사하였는데 그것은 자석들사이의 호상작용과 방향, 변화, 복각 및 회전이다. 제2권 제2장에서 길버트는 호박효과에 관한 자기의 실험들을 소개하면서 자성과 전기사이의 차이를 강조함으로써 새로운 과학분야인 전기학의

연구분야를 열어놓았다.

여기서 말하는 호박은 담배물주리를 만드는데 쓰이는 호박이다. 그는 전기를 《electron》이라고 하였는데 이것은 호박을 의미하는 그리스단어로부터 따온것이였다.

그는 유리, 굳은 봉랍, 몇가지 보석을 비롯한 30가지정도의 물질은 비비면 끌어당기는 효과를 나타낸다는것을 보여주었다.

이런 물질을 그는 전기적물체라고 하였으며 호박효과를 나타내지 않는 물질을 비전기적물체라고 하였다.

그는 또한 첫 검전기를 묘사하였는데 그것은 금속바늘을 막대기의 추축우에 올려놓은것이였다. 만일 마찰한 전기적물체를 그것의 가까이에 가져가면 그것은 벌어졌다.

그는 자성을 설명하기 위하여 자성체는 지구의 령혼을 가지고있다고 생각하였다.

이와 달리 전기적인력은 물질적근원을 가지고있다고 믿고있었다. 그는 전기적물체는 비비면 《에플루비아》라는것을 내보낸다고 생각하였다. 그것은 일종의 진공과 비슷한것인데 물체에 닿으면 그것을 끌어당긴다고 생각하였다.

## 자성체들의 호상작용과 방향

자성현상을 연구하면서 길버트는 매개 자성체주위에는 《영향구》라는것이 있어서 그안에 들어오는 임의의 자성을 띤 물체에 작용한다고 생각하였다.

그는 작은 구모양의 천연자석을 생각하고 그것을 작은 지구라고 하였다. 이것은 실험실에서 지구자기현상을 연구하기 위한 모형이였다. 그는 두 자성체들사이의 작용이 호상작용이라는것을 강조하였다. 즉 매개 자성체가 다른 자성체의 영향구안에 들어올 때 호상작용이 일어난다는것이다.

자기콤파스의 방향은 제3권에서 서술하였는데 그는 자석이 일정

한 방향으로 향하는것은 천극에 의한것이 아니라 지구자석의 영향때문이라고 주장하였다. 이 생각이 옳다는것을 그는 작은 지구를 리용하여 수많은 연시로 보여주었다. 즉 그는 작은 자석바늘의 극들을 지구의 북극 및 남극과 비교하였다.

제4권에서 길버트는 콤파스의 방향의 변화를 취급하였다.

자석바늘이 진짜 북극으로부터 편차된다는 잘 알려져있는 사실을 보여주기 위하여 그는 작은 지구의 겉면에 작은 티끌만한것을 만들어 붙였는데 그것은 대서양과 비슷한것이였다. 평탄한 겉면으로부터 이러한 편차가 생기면 콤파스의 방향이 달라지는것이였다. 그는 또한 이러한 편차를 리용하여 위도를 결정할수 있다는것을 론의하였다.

제5권에서는 자석이 수평면으로부터 편기되는 자기적편기를 서술하였다. 이번에도 그는 작은 지구를 리용하여 적도에서는 아무런 편기도 없고 자기바늘이 어느 한쪽 극으로 다가가는데 따라 편기가 점점 커진다는것을 보여주었다. 이로부터 하늘에 구름이 끼였을 때 편기를 리용하면 위도를 알아낼수 있다는것을 제기하였다.

제6권에서는 페레그리누스가 지적한바 있는 자기회전을 취급하였다. 페레그리누스는 천구에 완전히 맞게 놓여있는 구모양의 천연자석은 천구의 극과 함께 24시간동안에 한번씩 회전한다고 하였다. 길버트는 작은 지구를 코르크들의 우에서 움직일수 있게 하고 그것이 자석에 맞추어 돌아가는것을 관찰하였다. 그는 자기적회전이 지구가 자기의 축주위로 돌아가기때문에 생기는것이라고 가정하였다.

그는 또한 꼬뻬르니끄의 태양중심설을 지지하거나 반대한다는것을 표현하지 않으면서도 딴딴한 천구가 있고 그것이 하루에 한번씩 지구주위로 돌아간다는것을 부인하는 그의 견해는 지지하였다. 길버트는 또한 밀물과 썰물이 지구와 달의 자성때문이라고 가정하였다.

그러나 자성에 대한 이러한 일반화는 실험에 근거한것이 아니였다. 이 오유는 후에 그를 공격하는데 리용되였다.

길버트는 자성과 전기현상의 연구의 길을 열어놓았다.

실험방법에 철저히 의거해야 한다는 그의 강한 주장은 그후에 나온 베콘의 사상보다 앞선것이였다.

그러나 베콘은 길버트의 《자기학》이 모든것을 자성에 기초하여보려고 한 부족점을 가지고있는데 대하여 비판하였다.

또한 지구가 돌아간다는 길버트의 주장도 비판하였다.

길버트의 책은 특히 지구자기현상을 리해하는데서 매우 가치있는것이였으며 그후에 진행된 전기현상에 대한 연구에서 기초로 되였고 술어들도 길버트가 내놓은것이 쓰이게 되였다.

영국이나 서유럽에 있는 길버트의 동시대인들은 그가 책에서 내놓은 새로운 실험적방법과 그것의 풍부한 내용을 높이 평가하였다.

책의 제2판과 제3판이 출판되여 새로운 과학발전에 큰 영향을 주었다.

갈릴레이는 이 책에서 큰 영향을 받았고 자성현상을 연구하였다.

케플레르는 길버트의 자기현상에 대한 리론을 꼬뻬르니끄의 체계에서 행성들의 운동을 설명하는데 적용하려고 시도하였다.

이 리론은 후에 부인되였지만 만유인력에 대한 사상이 나오기 전까지 그것은 행성들의 운동을 설명하는데 리용되였다.

# 빛의 속도

1676년에 단마르크의 천문학자인 올 뢰메르(1644－1710년)에 의한 빛속도측정은 처음으로 빛이 유한한 속도로 전파된다는것을 보여주었다. 비록 그가 얻은 빛속도의 값은 실지값보다 25%정도 작은것이였지만 적용한 방법은 원리적으로는 옳은것이였다.

그때로부터 50년이 지나서 별의 수차를 측정함으로써 영국의 왕실천문학자인 제임즈 브레들리(1693－1762년)가 빛의 속도를 처음으로 정확히 결정하였다. 빛의 속도를 처음으로 측정하려고 시도한 갈릴레이, 빛의 속도를 계산하는데서 뢰메르를 도와준 네데를란드물리학자이며 천문학자인 크리스티안 후이겐스, 이딸리아천문학자인 지안 도메니코 카씨니(1625－1712년)가 이에 대한 연구로 이름을 남기였다.

# 무한대가 아니다

17세기전까지 과학자들은 빛의 속도는 무한히 크다고 생각하고있었다. 1607년경에 갈릴레이는 일정한 거리에 떨어져있는 산우에 서있는 방조자의 도움으로 두사람사이에 빛이 오고가는데 걸리는 시간을 재여 빛의 속도를 측정하려고 시도하였다.

갈릴레이와 그의 방조자는 꼭같은 등불을 가지고 갈릴레이가 등불을 막은것을 보면 방조자도 자기의 등불을 막도록 하였다.

갈릴레이는 실험에서 빛의 속도는 무한히 크거나 아니면 대단히 크다는 결론을 얻었다. 빛의 속도가 유한하다는것을 처음으로 1675년에 관측에 의하여 증명한 사람은 단마르크천문학자 올 뢰메르였다.

뢰메르는 단마르크의 쥬틀란드반도에서 가장 큰 도시인 아아루스

에서 1644년 9월 25일에 태여났으며 쾨뻰하븐종합대학에서 천문학을 배웠다. 그는 1671년에 튀코 브라헤의 천문대가 놓여있는 자리를 결정하는 일을 도와주었으며 1672년에 빠리로 가서 9년동안 빠리천문대에서 일하면서 목성의 위성들을 세밀하게 관찰하였다.

1675년에 그는 목성에 가장 가깝고 큰 4개 위성가운데서 가장 빠른 위성인 이오의 운동이 고르롭지 않다는것을 발견하였다.

1657년에 빠리왕립과학원 외국인회원인 크리스티안 후이겐스가 발명한 흔들이시계를 리용하여 뢰메르는 목성의 작은 위성인 이오의 42.5시간주기가 지구가 목성으로부터 멀어질 때에는 13초 더 길고 반대로 지구가 목성으로 다가갈 때에는 13초 더 짧다는것을 알게 되였다. 그는 이 현상이 지구가 목성으로부터 멀어질 때에는 빛이 지구까지 도달하는데 더 긴 시간이 요구되고 반대로 지구가 목성으로 다가갈 때에는 더 적은 시간이 요구되는데로부터 생긴다는것을 인식하였다. 자리길주기에서의 변화범위를 결정하기 위하여 뢰메르는 이오위성이 련이어 목성의 뒤부분을 지나갈 때 매개 식에서 이오가 나오는데 걸리는 시간을 재였다. 이오가 나오는데 걸리는 시간이 유한하기때문에 뢰메르의 측정값에서는 일정한 오차가 있었다. 이러한 변화로부터 뢰메르는 지구가 태양주위에서 그리는 원자리길의 두 끝점사이를 지나가는데 걸리는 시간이 22분(지금은 16분정도)이라는것을 계산해냈다. 1675년 11월 22일에 뢰메르는 과학원에 보고를 제출하여 목성의 위성 이오의 식은 1666년에 빠리천문대 대장인 카씨니가 측정한 평균값으로부터 예언한 시간보다 10분정도 늦게 일어난다는것을 보고하였다.

후이겐스의 도움을 받아서 뢰메르는 빛이 지구가 태양주위로 돌아가면서 그리는 원의 직경만한 거리를 지나가는데 걸리는 22분의 시간을 1671년에 카씨니가 구한 직경값과 결합하였다. 그 거리를 시간으로 나눔으로써 뢰메르는 빛의 속도가 23만㎞/s라는 결론을 얻었는데 이것은 현재의 값 30만㎞/s의 4분의 3정도이다. 뢰메르는 자기의 발견을 《빛의 운동에 대한 발견과 관련한 연시》라는 제목으로 잡지에 발표하였다.

뢰메르는 빛의 속도를 측정하였을뿐아니라 화렌하이트가 온도계

를 만들수 있는 길을 열어줌으로써 현대온도계를 만드는데서도 핵심적역할을 놀았다. 뢰메르는 매개 온도계의 눈금을 기준온도에 기초하여 새길것을 결심하였는데 화렌하이트가 뢰메르에게 온도측정문제를 토론하러 왔을 때까지도 쓸모있는 온도눈금새김을 찾아내지 못하고있었다. 물리학사를 연구하는 학자들은 화렌하이트의 연구에 뢰메르가 어느 정도로 영향을 주었는가 하는 문제를 놓고 오래동안 론의하여왔다. 이전 쏘련의 레닌그라드의 고문서고에서 화렌하이트의 편지를 발견한 다음에야 비로소 이 문제가 완전히 밝혀졌다. 그 편지에서 화렌하이트는 자신과 뢰메르가 함께 진행한 연구사업에 대하여 자세히 쓰고있다. 이 과정에 화렌하이트는 온도계와 기압계를 개선하는 문제에 흥미를 가지게 되였던것이다.

빛의 속도에 대한 정확한 첫 측정은 뢰메르의 측정이 있은 때로부터 약 50년이 지난 1728년에 영국천문학자 브레들리에 의하여 진행되였다. 그도 역시 천문학적방법을 리용하였다.

브레들리는 지구가 태양주위로 돌아간다는것을 증명하기 위하여 별들의 년주시차를 측정하였다. 년주시차라는것은 지구가 운동하기때문에 6개월의 주기로 별이 보이는 각이 달라지는것이다.

뢰메르도 이 시차를 측정하려고 시도하였지만 아무런 변화도 알아내지 못하였다.

브레들리도 시차를 측정하지 못하였지만 단 3일동안에 각도가 활등의 1초정도로 비교적 크게 달라지는것을 발견하였다.

브레들리는 템즈강을 항행하는 과정에 천천히 부는 바람속에서 마스트에 있는 바람개비가 배의 방향이 바뀌울 때 배의 방향으로부터 리탈되는것을 보고 별의 방향이 비정상적으로 달라지는것을 설명하였다고 한다. 그는 별의 방향이 비정상적으로 달라지는것은 지구가 일정한 속도로 달아나는 빛에 대하여 자리길운동을 하기때문에 나타나는 현상이라고 보았다. 이러한 《별빛의 수차》는 수직으로 떨어지는 비방울이 운동하는 관측자가 볼 때에는 일정한 각을 지어 떨어지는것으로 보이는것과 비슷하다. 별수차각은 지구가 앞으로 나가는 속도와 빛의 속도의 비와 근사적으로 같다.

이 각을 정확히 측정하고 그것을 지구의 공전속도와 비교함으로

써 브레들리는 빛의 속도가 29만㎞/s라는것을 얻었는데 그것은 30만㎞/s보다 2%만큼 작은것이다. 브레들리가 별빛의 수차를 정확히 측정한것은 빛의 속도의 값을 보다 정확히 알수 있게 하였을뿐아니라 거의 200년전에 꼬뻬르니끄의 리론에서 나온 태양주위로의 지구의 운동을 처음으로 직접적으로 보여주었다는데도 그 의의가 있다. 별이 바라보이는 각에 대한 보다 정확한 측정에 기초하여 브레들리는 1732년에 지구의 자전축이 장동운동을 한다는것을 발견하였다. 그것은 달이 지구에 미치는 만유인력때문에 생긴다. 이러한 성과로 하여 그는 영국에서 3번째 왕실천문학자로 되였다.

브레들리가 얻은 빛속도의 값은 19세기 중엽에 프랑스에서 시작된 지구에서의 빛속도측정이 있기 전까지 더 개선되지 못하였다. 지구에서 빛의 속도를 측정하는것은 갈릴레이가 적용한 방법을 개선한것이였는데 그것은 빠른 속도로 돌아가는 바퀴에서 빛이 반사되는것을 리용하는것이였다. 비록 뢰메르가 얻은 빛의 속도는 진짜값보다 4분의 1정도 작은것이였지만 그가 적용한 방법은 옳은것이였으며 그 결과에 빛의 속도가 유한하다는것이 발견되였다.

빛은 소리보다 약 100만배 빠르다는것을 보여줌으로써 뢰메르는 빛이 소리와 같은 력학적파동의 전파과정이 아니며 실지에 있어서는 18세기에 확증된것처럼 전자기파라는것을 보여주는데 기여하였다. 빛의 속도를 측정하는데서 브레들리가 적용한 개선된 방법은 그 정확도를 높이기 위한 탐구에로 이어졌으며 그것은 결국 빛의 본질을 밝힐수 있게 하였고 지구가 운동한다는것에 대한 첫 직접적증거를 주었다.

그의 연구가 있은 때로부터 한세기가 지나서 지구에서 빛의 속도를 측정하게 되면서 빛속도의 값을 가장 높은 정확도로 얻게 되였으며 물속에서 빛의 속도가 공기속에서의 속도보다 작다는것을 보여주었는데 이것은 빛이 파동이라는것을 확증하여주었다.

전자기현상에 대한 연구로부터 빛은 전기마당과 자기마당에 의하여 전달된다는것이 밝혀졌으며 전자기파의 속도는 실험에서 측정한 전기상수 $\varepsilon_0$과 자기상수 $\mu_0$에 기초하여 계산할수 있게 되였다. 그 계산결과는 측정결과와 일치하였다. 아인슈타인의 상대성리론에서 진공에서의 빛의 속도는 자연의 기본상수의 하나로 되고있다.

## 반 알렌방사선띠

미국물리학자인 제임스 반 알렌(1914－)은 인공지구위성을 리용하여 지구자기마당안에 대전립자들이 붙잡혀있다는 사실을 처음으로 발견하였다.

## 공간을 향하여

1950년대 후반기까지 지구자기마당은 지구겉면에서만 연구할수 있었다. 그러므로 지구자기마당이 어떻게 형성되는가 하는 문제와 그 자기마당의 모양이나 세기를 구하는 문제 그리고 그것이 차지하는 공간구역에 대한 문제는 알수 없었다. 그러나 인공지구위성을 쏴올리게 되면서 사정은 달라졌다. 도이췰란드에서 제2차 세계대전시기에 영국의 도시들을 타격하기 위하여 리용한 V－2로케트는 100㎞의 높이까지 올라갈수 있었다. 비록 이것은 위성을 궤도에 올려놓는데는 불충분하였지만 위성을 개발하는데서 첫걸음이였다. 제2차 세계대전이 끝난 다음 도이췰란드과학자들과 로케트들은 미국에서의 공간에 대한 연구의 기초로 되였다. 제임스 반 알렌은 대학생때부터 우주선을 연구하였다. 그는 1939년에 철학박사로 되였다. 제2차 세계대전기간에 그는 해군장교로 복무하면서 포탄껍질에 들어가는 근접전파신관을 연구하였다. 이 장치에서는 탄피가 목표물에 닿았을 때 탄피로부터 나오는 레이다신호를 리용하여 신관이 폭발하게 되여있다. 반 알렌은 탄피의 작은 부분에 설치할수 있도록 전자설비들을 극소화하는 문제를 연구하였다. 제2차

세계대전후 반 알렌은 로획한 V-2로케트에 설치하는 기구들의 포장을 작게 하는 문제를 연구하고있었다. 이러한 로케트들은 보다 작은 짐을 올려야 하므로 더 높이 올라갈수 있었지만 아직 그것을 지구주위를 돌아가는 자리길우에 올려놓을 정도는 못되였다. 그러나 1954년에 반 알렌과 그의 공동연구자들은 당시 개발되고있던 보다 크고 강력한 로케트를 리용할수 있는 가능성에 대하여 말할수 있게 되였다.

과학자들은 1957년 7월 1일부터 1958년 12월 31일까지를 국제지구물리년도로 정하였다. 이 기간에 전세계의 과학자들은 우리가 살고있는 지구에 대하여 더 잘 알기 위하여 지구와 그 주위공간을 구체적으로 연구할 계획이였다. 이전 쏘련의 과학자들은 이러한 연구의 일환으로서 1957년 10월에 첫 인공지구위성인 《스뿌뜨니끄 1》호를 지구자리길에 진입시켰다.

반 알렌이 전쟁기간에 쌓은 경험은 미국에서 작은 출력의 로케트를 개발하는데서 매우 귀중한 밑천으로 되였다. 비록 하중은 적었지만 반 알렌과 다른 연구자들의 노력에 의하여 그것은 보다 정교한것으로 되였다. 1958년 7월 26일에 미국에서는 《엑스플로러》호 인공지구위성에 공간방사능을 연구하기 위하여 가이게르-뮬레르셈판을 설치하였다. 셈판에서 지구에 보내온 신호를 분석하는 과정에 좀 이상한 현상이 발견되였다. 신호는 최대값에 이르렀다가 령으로 떨어지고 그다음 다시 최대값으로 올라갔다. 반 알렌은 이것은 실지로 복사가 줄어들기때문에 일어나는것이 아니고 복사세기가 너무 크면 기구가 그것을 알아낼수 없기때문에 나타나는 현상이라고 옳게 해석하였다. 이것은 라지오에서 조절기를 너무 세게 돌리면 전자장치들이 설계된 한도를 넘어서면서 신호가 제대로 들리지 않는것과 비슷하다.

그후의 연구는 이러한 복사의 본질을 밝혀냈다. 지구자기마당은 태양에서 복사되여 지구가까이까지 온 전자들과 그밖의 다른 립자들을 일시적으로 포획한다. 이런 립자들은 태양으로부터 끊임없이 날아오고있는데 태양바람으로 알려져있다.

일부 립자들은 지구대기웃부분에 있는 기체들이 태양에서 온 립

자들과 호상작용한 결과에 생겨날수 있다. 지구자기마당은 남쪽반구에 있는 자극에서 부채모양으로 퍼지면서 지구적도에서 활등을 이루다가 북반구의 자극에서 모여든다. 자기마당은 량쪽 극들에서 가장 세며 두 극사이의 중간에서 가장 약하다. 전자와 같은 립자들은 자기마당속에 들어가서 자력선을 따라 라선을 그리면서 운동한다. 극근방에서 마당의 세기가 커지므로 립자들은 그 구역에서 튀여오르며 반대쪽에 있는 극을 향하여 라선운동을 한다. 립자들은 이런 운동을 여러번 하다가 우주공간으로 달아난다.

지구자기마당에는 복사준위가 높은 두개의 띠가 있다. 지구중심을 향하여 보면 이 두개 띠는 짜배기모양으로 되여있으며 그것의 가로자름면은 초생달모양으로 되여있다. 안쪽에 있는 띠는 지구겉면으로부터 3 000㎞의 높이에서 시작되며 5 000㎞의 높이에서 가장 두껍다. 바깥띠는 지구겉면으로부터 16 000㎞의 높이에서 시작되며 6 500㎞의 두께를 가지고있다. 대전립자들의 대부분은 전자이지만 안쪽띠에는 약간의 양성자와 그밖의 다른 립자들도 있다. 이것들을 반 알렌이 발견하였으므로 높은 방사능을 가진 이 띠들을 반 알렌띠라고 부른다.

지구주위로 일정한 자리길을 따라 돌아가는 인공지구위성은 통신, 항해 및 지구에 대한 감시를 위한 매우 편리한 방법을 준다. 그런데 인공지구위성들이 자리길에 많이 들어가게 되면서 편리한 자리길들에는 위성들이 차있게 되여 지구로부터 더 먼 거리에 있는 공간을 리용하지 않으면 안되게 되였다.

반 알렌방사선띠들이 이 문제의 해결을 더 복잡하게 만든다. 그것은 거기서 방사준위가 높기때문에 인공지구위성안에 있는 기구들을 보호하기 위하여 더 많은 보호막을 써야 하므로 필요한 짐의 무게가 늘어나기때문이다. 지구자기마당속에서 립자들이 라선을 따라 돌아가다가 튀여오르군 하는것은 에네르기위기를 극복하기 위한 한가지 착상을 제공해준다.

쓰기 편리한 에네르기원천들은 고갈되여가고있기때문에 요구되는 에네르기를 생산하기 위한 다른 방도를 찾아내야 한다. 그러한 한가지 방법은 수소원자핵들을 헬리움핵으로 전환시키는 핵

융합반응을 리용하는것인데 이때 거대한 량의 에네르기가 나온다. 그러나 이러한 핵융합반응이 일어나자면 수백만℃의 높은 온도가 있어야 한다.

지금까지 알려져있는 그 어떤 물질도 이렇게 높은 온도에서는 견딜수 없다.

그러나 자기《병》을 만들어서 그안에서 수소플라즈마가 자기마당을 따라 라선운동을 하면서 자기마당의 세기가 약해지는 《병》의 끝부분에서 튀여오르게 할수 있다. 이러한 기구를 만들데 대한 착상은 반 알렌방사선띠를 분석하는 과정에 나왔다.

자기《병》은 특히 조종열핵융합반응에서 유익하다. 이것은 과학의 한 분야에서 이룩된 성과가 다른 과학분야에서의 연구사업에 영향을 주면서 인류의 복리증진에 이바지하는 하나의 실례이다.

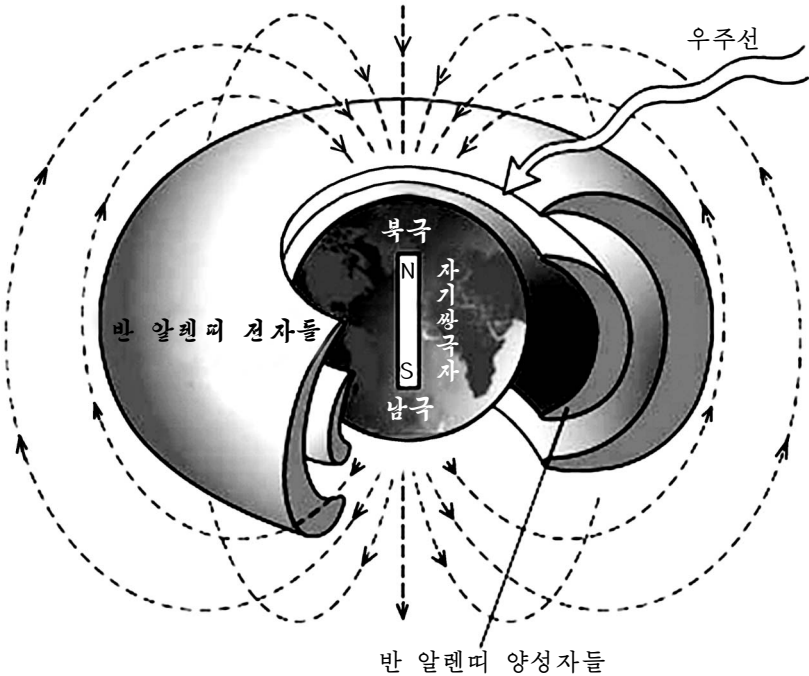



그림 19. 반 알렌방사선띠

# 초장거리기준선간섭법

초장거리기준선간섭법은 이전에는 연구할수 없었던 대단히 멀리 떨어져있는 우주구역을 연구할수 있는 가능성을 주었다.

영국라지오천문학자인 마틴 라일(1918－1984년), 미국 라지오천문학개척자인 칼 잔스키(1905－1950년)가 이에 대한 연구로 이름을 남기였다.

## 전세계에 걸쳐있는 라지오망원경

천문학자들은 언제나 별, 행성, 크와자르와 그리고 지구에서 너무 멀리 떨어져있어서 보통의 광학망원경으로는 볼수 없는 대상들을 연구하려고 희망하여왔다.

과학자들은 멀리 떨어져있는 물체들이 내보내는 복사파동을 연구하면 그러한 대상들에 대하여 파악할수 있다는것을 알게 되였다. 하여 과학자들은 접시모양을 가진 장치인 라지오망원경을 만들어 하늘로 향하게 하고는 그러한 복사파를 모아 연구함으로써 우주의 먼곳을 《들여다볼수》 있게 되였다.

우주에 있는 대상들과 우주에서 일어나는 현상들을 연구하기 위하여 라지오망원경을 리용하는 라지오천문학은 1929년에 칼 잔스키에 의하여 《발견》되였다. 그 시기에 그는 벨전화회사에서 복무하면서 전화선에서 들려오는 《쉬쉬－》 하는 소리를 연구하고있었다. 자기가 리용하던 매우 거친 라지오망원경에서 얻은 자료에 기초하여 그는 이러한 소리가 우리은하계로부터 오는 라지

오신호때문에 생긴다는것을 발견하였다.

1945년에 제2차 세계대전이 끝나자 과학자들은 점점 더 큰 라지오망원경을 만들기 시작하였다. 뿌에르또리꼬의 아레시보에 건설된 라지오망원경은 300m의 직경을 가진 반사접시를 가지고있었다. 라지오파는 빛과 마찬가지로 일종의 전자기파인데 그것의 파장이 빛의 파장보다 훨씬 길기때문에 라지오망원경은 커야 한다. 보통 리용하는 광학망원경은 파장이 ㎛(1m의 100만분의 1)정도인 보임빛을 접수한다. 그러나 라지오망원경은 몇㎝ 또는 몇m의 파장을 가진 라지오파를 리용한다. 심지어 가장 큰 접시모양의 라지오망원경 하나만 있다면 그것의 정확도는 그보다 훨씬 작은 광학망원경보다 더 작을것이다. 그것은 접수하는 파동의 파장이 훨씬 길기때문이다.

간섭계는 어떤 대상을 거기서부터 오는 라지오파와 같은 파동들을 비교하는 방법으로 연구하는 장치이다. 서로 떨어져있는 두개 또는 여러개의 라지오망원경들을 케블로 련결하면 대단히 크고 높은 정확도를 가지는 망원경을 《만들수》 있다. 이런 방법으로 만든 큰 라지오망원경은 간섭계이다. 그것은 이러한 망원경은 서로 떨어져있는 라지오망원경에서 수집한 파동들을 비교할수 있기때문이다. 이것은 만일 두개 망원경을 리용한다면 하나의 거대한 망원경으로 얻을수 있는것과 같은 결과를 얻을수 있다는것을 의미한다. 두 망원경사이의 거리를 기준선이라고 부르며 이러한 방법으로 간섭계를 만들고 리용하는 방법을 기준선간섭법이라고 부른다.

이 분야의 개척자의 한사람인 마틴 라일은 간섭계에 대한 연구공로로 1974년에 노벨물리학상을 수여받았다. 그는 케블로 련결하여 얻는것보다 더 크고 더 높은 정확도를 가지는 라지오간섭계를 만들려고 하였다.

라일은 《구경합성》이라는 방법을 발전시킨 결과에 련결된 라지오망원경의 정확도를 상상하기 어려울 정도로 높일수 있었다. 그러나 원자시계가 발명된 다음에야 비로소 대단히 큰 간섭계를 실지로 만들수 있었으며 초장거리기준선간섭법이 태여날수 있었다.

극히 높은 정확도를 가지는 원자시계를 리용하여 대단히 먼거리에 떨어져있는 천문학자들은 꼭같은 라지오원천을 동시에 감시할수 있게 되였으며 얻어진 정보를 시간과 함께 테프에 기록할수 있게 되였다. 그런 다음 시계의 신호를 리용하여 두 라지오망원경에서 얻은 정보를 동기화할수 있다.

그 결과는 마치도 두 망원경이 라지오원천을 감시하는 과정에 그것들이 물리적으로 서로 련결되여있은것과 같다. 그리하여 망원경들이 라지오원천을 감시할 때 그것들을 반드시 직접 련결할 필요가 더는 없게 되였다.

원자시계를 리용하면 천문학자들은 몇㎞ 떨어져있는 두개 또는 그 이상의 라지오망원경으로 간섭계를 만들수 있다. 초장거리기준선간섭계를 만드는데서 리용할수 있는 기준선의 최대길이는 지구의 직경인 12 700㎞와 같다. 이렇게 긴 기준선을 리용하면 정확도가 극히 높은 결과를 얻을수 있다. 사실 초장거리기준선간섭법을 리용하여 얻을수 있는 정확도는 200㎞의 거리에 있는 바늘끝을 보는것과 같다. 비록 이 기술은 과학자들에게 매우 높은 정확도를 가진 정보를 제공하지만 그것을 리용하는것은 매우 어려우며 많은 시간을 요구한다.

실례로 만일 매우 멀리 떨어져있는 라지오망원경을 리용하는 경우에 높은 분해능의 라지오신호를 얻기 위해서는 오랜 시간동안 관측해야 한다.

또한 지구의 직경과 같은 거리에 떨어져있는 두 라지오망원경은 신호접수기의 작은 부분에 지나지 않으므로 높은 정확도를 가지지 못한다. 보다 정확한 영상을 얻자면 더 많은 라지오망원경이 있어야 한다. 실례로 6개의 라지오망원경에서 얻는 결과는 임의의 파장에서 가장 높은 천문학적영상을 줄수 있다.

# 력사에 이름남긴 물리학자들

집　필　박사　로석봉
심　사　교수, 박사　최순철
편　집　김혜선　　장　정　손명희
편　성　정향애　　교　정　김금희

---

낸　곳　금 성 청 년 출 판 사
인쇄소　평 양 종 합 인 쇄 공 장 － 2
인　쇄　주체101(2012)년 7월 20일
발　행　주체101(2012)년 7월 25일

---

ㄱ－271145ㄴ　　　　값 200원